



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07107124 A**(43) Date of publication of application: **21.04.95**

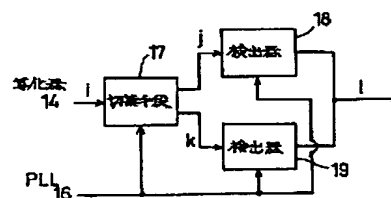
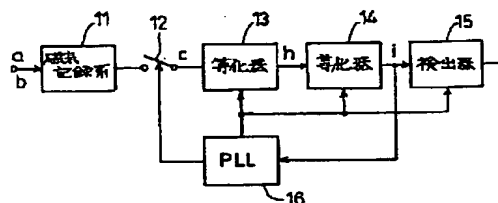
(51) Int. Cl.

**H04L 25/03****G11B 20/14****H04L 25/497**(21) Application number: **05250859**(71) Applicant: **FUJITSU LTD**(22) Date of filing: **06.10.93**(72) Inventor: **SUGAWARA TAKAO****(54) DATA TRANSMISSION SYSTEM****(57) Abstract:**

**PURPOSE:** To provide a data transmission system whose S/N gain is high, and also, which can conduct transmission at a high speed, with regard to the data transmission system using a partial response system and maximum likelihood decoding.

**CONSTITUTION:** With respect to an output of a magnetic recording system 11 to which a processing of  $(1-D)$  [ $D$ : one bit delay operator] is performed, equalization of  $(1+D)^2$  is performed by an equalizer 13, and thereafter, equalization of  $(1-D)$  is further conducted by an equalizer 14, and by conducting the equalization of  $(1-2D^2+D^4)$  as a whole, it can be divided into two alternately at every one bit, divided by a switching means 17, and by detectors 18, 19, a detection of  $[1/(1-2D^2+D^4)]$  is conducted alternately at every one bit, outputs of the detectors 18, 19 are synthesized, and decoding is conducted.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO



(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 7-107124

(43) 公開日 平成7年(1995)4月21日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 L 25/03		C 9199-5 K		
G 1 1 B 20/14	3 4 1 A	9463-5 D		
H 0 4 L 25/497		9199-5 K		

審査請求 未請求 請求項の数 3

O L

(全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平5-250859

(22) 出願日 平成5年(1993)10月6日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72) 発明者 菅原 隆夫

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 伊東 忠彦

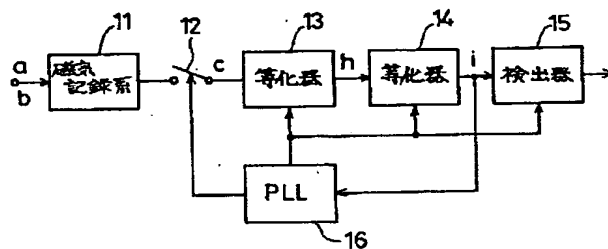
(54) 【発明の名称】 データ伝送システム

(57) 【要約】

【目的】 パーシャルレスポンス方式及び最尤復号を用いたデータ伝送システムに関し、SN利得が高く、かつ、高速伝送が可能なデータ伝送システムを提供することを目的とする。

【構成】  $(1-D)$  [D: 1ビット遅延演算子] なる処理が実施される磁気記録系 11 の出力を等化器 13 により  $(1+D)^2$  なる等化を実施した後、さらに等化器 14 により  $(1-D)$  なる等化を行ない、全体で  $(1-2D^2+D^4)$  なる等化を行なうことにより 1ビット毎に交互に 2分割可能にし、切換手段 17 で分割し、検出器 18, 19 により 1ビット毎に交互に  $[1/(1-2D^2+D^4)]$  なる検出を行ない、検出器 18, 19 の出力を合成し、復号を行なう。

本発明の第1実施例の構成図



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力信号の所定の周期毎に伝送される伝送路(1)上に設けられ、 $(1-D)$ 、 $(1+D)$ —

<sup>2</sup> [D: 所定周期の遅延演算子] なる等化を行なう第1の等化手段(2)を有するデータ伝送システムにおいて、

前記伝送路(1)上に設けられ、 $(1-D)$ なる等化を行なう第2の等化手段(3)と、

前記伝送路上の前記第1の等化手段(2)及び前記第2の等化手段(3)の後に設けられ、前記第1の等化手段(2)及び前記第2の等化手段(3)で等化された信号を2系統の伝送路に前記所定の周期毎に交互に供給する切換手段(4)と、

前記切換手段(4)から前記所定周期毎に交互に信号が供給される前記2系統の伝送路の一方に設けられ、前記切換手段(4)から供給される信号に対して、 $[1/(1-2D^2+D^4)]$ なる検出を行なう第1の検出手段(5)と、

前記切換手段(4)から前記所定の周期毎に交互に信号が供給される前記2系統の伝送路の他方に設けられ、前記切換手段(4)から供給される信号に対して、 $[1/(1-2D^2+D^4)]$ なる検出を行なう第2の検出手段(6)とを有し、

前記第1の検出手段(5)により検出された信号と前記第2の検出手段(6)により検出された信号とを合成することにより前記入力信号を復元することを特徴とするデータ伝送システム。

【請求項2】 前記第1及び第2の検出手段(5, 6)は上下レベルの非対称な波形に応じたパターンが記憶され、該パターンに応じたデータを変換し、等化を行なうことを特徴とする請求項1記載のデータ伝送システム。

【請求項3】  $(1-D)$  [D: 1ビットの遅延演算子] なる処理を行なう処理手段を有するデータ伝送システムにおいて、

前記処理手段(14)の後に信号の上下レベルの非対称を補正する線形フィルタ(41)を有することを特徴とするデータ伝送システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はデータ伝送システムに係り、特に、パーシャルレスポンス方式及び最尤復号を用いたデータ伝送システムに関する。

【0002】 近年、磁気ディスク装置の高密度化を図るうでパーシャルレスポンス(PR)方式及び最尤復号(MLSE)等の信号処理技術が注目されており、特にPR方式とMLSEとを組み合わせたPRML方式と呼ばれる信号処理技術が注目されている。

【0003】 また、一方、磁気ディスク装置を含むデータ伝送システムにおいては信号処理の高速化が求められている。

## 【0004】

【従来の技術】 図8にパーシャルレスポンス(PR: Partial Response)方式のクラス4と最尤検出(MLSE: Maximum Likelihood Sequence Estimation; ビタビ検出)とを組み合わせ、PRML方式と呼ばれるデータ伝送方式を用いた磁気ディスク装置の構成図を示す。同図中、31は磁気記録系を示す。

【0005】 磁気記録系31には入力信号が供給され、磁気ディスク等に入力信号に応じた信号が記録され、その再生信号は $(1-D)$ なる等化と見なすことができる。このとき、Dは1ビットの遅延に相当する遅延演算子を示す。

【0006】 PRML方式では磁気記録系31からの $(1-D)$ と見なおされる信号をまず、等化器32に供給する。等化器32では供給された信号に対して $(1+D)$ なる等化を実施する。

【0007】 ここで、磁気記録系31で $(1-D)$ 、等化器32で $(1+D)$ なる等化が施されるため、等化器32の出力には再生信号に対して $(1-D)(1+D) = (1-D^2)$ なる等化が実施されることになる。

【0008】 等化器32の出力は検出器33に供給される。検出器33は切換回路34及び2系統の検出回路35, 36より構成される。切換回路34は再生信号のビット周期に応じて等化器32より供給された信号を検出回路35, 36に交互に供給する。

【0009】 検出回路35, 36は供給された信号に対して $1/(1-D^2)$ なる検出を実施する。

【0010】 図9にPR方式の動作波形図を示す。a, bは磁気記録系31に供給される記録データ、cは磁気記録系31の出力データ、dは等化器32の出力データ、e, fは切換回路34の出力データ、gは検出器3の出力データを示す。

【0011】 記録データa, bは磁気記録系31で $(1-D)$ によりデータcとされる。等化器32によりデータcに $(1+D)$ なる等化が行なわれ、記録データa, bに対しては $(1-D)(1+D) = (1-D^2)$ なる等化が実施されたことになる。このため、 $D^2$ なる2ビットの遅延が生じ、切換回路34による分割が可能となり、検出回路35, 36で1ビット毎に交互に $(1/(1-D^2))$ なる検出が行なわれ、検出回路35, 36の出力データを合成して出力することにより、データgに示すように記録データaを復元している。

【0012】 また、図10にEPRML方式の磁気記録再生系の構成図を示す。同図中、図8と同一構成部分には同一符号を付し、その説明は省略する。EPRML方式ではSN利得を向上するために等化器32の後に $(1+D)$ なる等化を行なう等化器41を設け、記録データa, bに対して $(1-D)(1+D)(1+D) = (1-D^2)(1+D) = (1+D-D^2+D^3)$ なる等化を実施、図9hに示すようなデータとする。

【0013】検出器42では逆に $[1/(1+D-D^2-D^3)]$ なる検出を行ない、図9gに示すように記録データを復元する。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】しかるに、PRML方式の伝送システムではS/N利得があまり大きく取れないため、情報の高密度化には不利となる。

【0015】また、従来のEPRML方式の伝送システムでは検出回路の処理が $[1/(1+D-D^2-D^3)]$ となり、奇数倍と偶数倍の遅延が混在するため、PRML方式のように2系統に分割して処理することはできず、従って、処理速度を上げることはできない等の問題点があった。

【0016】図11にMR（磁気抵抗効果型）ヘッドの動作曲線（ $\rho$ —H特性）図を示す。MRヘッドの $\rho$ —H特性は図11に示すようにリニアではないため、バイアス点により変動してしまう。例えばバイアス点 $h_B$ とした場合にはヘッド再生信号はバイアス、レベル上下で非対称なものとなってしまう。一般に磁気記録系31内ではMRヘッドはACカップリングされており、図12（A）に示すMRヘッドで再生された信号は図12（B）に示すように0レベルがずれてしまう。

【0017】0レベルがずれると正確な等化・検出できないため、データの誤り率が增大してしまう。

【0018】このように、磁気記録再生装置などにおいては、磁気記録再生系31で磁気ヘッドの特性により誤り率の劣化が生じてしまう等の問題点があった。

【0019】本発明は上記の点に鑑みてなされたもので高速に信号処理を行なえる伝送システムを提供することを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】図1に本発明の原理図を示す。伝送路1には入力信号の情報が所定の周期毎に伝送される。第1の等化手段2は伝送路上に設けられ、 $(1-D)(1+D)^2$ 〔D：1ビットの遅延演算子〕なる等化を行なう。

【0021】第2の等化手段3は伝送路1上に設けられ、 $(1-D)$ なる等化を行なう。

【0022】切換手段4は伝送路1上の第1の等化手段2及び第2の等化手段3の後に設けられ、第1の等化手段2及び第2の等化手段3で等化された信号を2系統の伝送路に所定の周期毎に交互に供給する。

【0023】第1の検出手段5は切換手段4から所定の周期毎に交互に信号が供給される2系統の伝送路の一方に設けられ切換手段4から供給される信号に対して $[1/(1-2D^2+D^4)]$ なる検出を行なう。

【0024】第2の検出手段6は切換手段4が所定の周期毎に交互に信号が供給される2系統の伝送路の他方に設けられ、切換手段4から供給される信号に対して $[1/(1-2D^2+D^4)]$ なる検出を行なう。

【0025】第1の検出手段5の出力信号と第2の検出手段6の出力信号とを合成することにより入力信号が復元される。

【0026】

【作用】第1の等化手段で $(1-D)(1+D)^2$ に等化された信号は第2の等化手段により $(1-D)^2(1+D)^2 = [(1-D)(1+D)]^2 = (1-D^2)^2 = (1-2D^2+D^4)$ に等化される。

【0027】第1及び第2の等化手段により $(1-2D^2+D^4)$ に等化された信号は切換手段4により所定周期毎に交互に2系統の伝送路に供給される。

【0028】一方の伝送路では第1の検出手段により $[1/(1-2D^2+D^4)]$ なる検出が行なわれ、所定周期おきに $(1-2D^2+D^4)$ に等化された信号の復号が行なわれる。

【0029】また、他方の伝送路では第2の検出手段により $[1/(1-2D^2+D^4)]$ なる検出が行なわれ、所定周期おきに $(1-2D^2+D^4)$ に等化された信号の復号が行なわれる。

【0030】第1の検出手段と第2の検出手段とは信号を所定周期おきに互いに補完していて、第1の検出手段の出力と第2の検出手段との出力信号とを合成することにより入力信号を復元できる。

【0031】 $(1-2D^2+D^4)$ なる等化は $D^2$ 、 $D^4$ の偶数倍の遅延で実現できるため、信号を所定周期おきに2系統の伝送路に分割して、入力信号の復号を行なえる。また、2系統で処理を行なうため、各系統の $[1/(1-2D^2+D^4)]$ なる検出は所定の周期の2倍の処理を行なえばよいことになる。

【0032】従って、処理時間の大きい $[1/(1-2D^2+D^4)]$ の等化速度を1系統だけのものより2倍高速化できるため、全体の処理速度を高速化できる。

【0033】

【実施例】図1に本発明の第1実施例の構成図を示す。本実施例では磁気ディスク装置のEPRML方式によるデータ復号処理について説明する。同図中、11は磁気記録系を示す。磁気記録系11には記録データが供給され、記録データに応じた情報が磁気ディスクに記録される。

【0034】磁気記録系11では一般に磁気ディスクに記録された情報の再生信号は元の記録データに対して $(1-D)$ なる等化と見なされる。 $(1-D)$ なる等化はDが1ビット分の遅延演算子を表わしており、現在供給されているデータから1ビット前のデータを減算する処理を示す。

【0035】磁気記録系11で再生され $(1-D)$ なる等化が実施された信号はサンプリング用スイッチ手段12を介して等化器13に供給される。等化器13は磁気記録系11から供給された信号に $(1+D)^2$ なる等化が実施される。 $(1+D)^2$ なる等化は $(1+D)$ なる

等化を2回実行した等化を表し、 $(1+D)$ なる等化は現在供給されているデータに1ビット前のデータを加算する処理を示す。ここで、記録データには磁気記録系11で $(1-D)$ 、等化器13で $(1+D)^2$ なる等化が実施され、等化器13の出力としては $(1-D)(1+D)^2$ なる等化が実施されたことになる。

【0036】等化器13の出力データは次に等化器14に供給される。等化器14は等化器13から供給されたデータに対して $(1-D)$ なる等化を実施する。磁気記録系11、等化器13、14により記録データには $(1-D)^2(1+D)^2 = [(1-D)(1+D)]^2 = (1-D^2)^2 = (1-2D^2+D^4)$ なる等化が行なわれる。

【0037】等化器14の出力信号は検出器15及びPLL回路16に供給される。検出器15は等化器14からの信号を復号して元の記録データを復元する。

【0038】図3に検出器15の構成図を示す。検出器15は切換手段17、検出器18、19より構成される。切換手段17は等化器14から信号が供給され、供給された信号をPLL回路16からのクロックに応じて検出器18、19に振り分ける。PLL回路16は等化器14から供給された信号に基づいて、クロックの位相を制御する。PLL回路16のクロックは磁気記録系11の出力信号と同期した周波数を有し、スイッチ手段12、等化器13、14、検出器15に供給される。スイッチ手段12はPLL回路16からのクロックに応じてオン・オフし、磁気記録系11の出力信号をサンプリングし、等化器13へ情報に応じた信号が供給されるように制御する。また、等化器13、14、検出器15はPLL回路16からのクロックに応じてデータの取り込み遅延等が制御され、等化検出を実施する。

【0039】検出器18、19は共にROM等で構成されており、供給される信号波形に応じたデータのパターンにより出力データを決定し、供給された信号に対して $[1/(1-2D^2+D^4)]$ なる検出が実施される構成とされている。このとき、供給される信号波形が上下のレベルで非対称となることを考慮して、上下レベルの非対称な波形のパターンに対応して出力データを出力するようにデータを記憶されており、従って、上下レベルの非対称な波形のデータでも確実に出力データが得られ、誤り率を低減できる。

【0040】検出器18、19の出力データは入力データに対して $[1/(1-2D^2+D^4)]$ なる検出が実施されるため、 $(1-2D^2+D^4)$ なる等化がなされたデータに対しては、 $(1-2D^2+D^4) \cdot [1/(1-2D^2+D^4)] = 1$ なる処理が実施される。このとき、検出器18と検出器19とは1ビット毎に交互に検出を行なうため、検出器18、19の夫々の出力は1ビットおきの出力となる。従って、検出器18、19の出力を合成して一つのデータとして出力することによ

り元の記録データが復元される。

【0041】図4に本発明の一実施例の動作波形図を示す。同図中、aは磁気記録系11に供給される記録データの数値による表示、bは記録データの波形図を示す。記録データはaのハイレベルに相当する波形として磁気記録系11に供給される。

【0042】記録データbは磁気記録系11により $(1-D)$ なる等化が施されたものと見なすことができ、信号Cとされる。信号Cにおいて、例えば時刻 $t_1$ におけるデータ“1”は時刻 $t_1$ におけるaのデータ“1”からその前の時刻 $t_0$ のaのデータ“0”を減算したものであるから $(1-0)$ で“1”とされる。また時刻 $t_2$ におけるデータ“1”は時刻 $t_2$ でのaのデータ“0”から時刻 $t_1$ でのaのデータ“1”を減算したものであるから $(0-1)$ で $t_1$ で“-1”とされる。以下、同様な処理が行なわれ、図4に示される記録データa、bより信号Cが得られる。

【0043】信号Cは等化器13に供給される。等化器13では $(1+D)^2$ なる等化が実施され、信号hとされる。信号hにおいて、時刻 $t_1$ におけるデータ“1”は時刻 $t_1$ におけるcのデータ“1”にその前の時刻 $t_0$ のcのデータ“0”を加算する処理を2回実施することになるから1回目は $(1+0)$ で“1”，さらに2回目で $(1+0)$ で“1”となる。時刻 $t_2$ のデータは時刻 $t_2$ のcのデータ“-1”にその前の時刻 $t_1$ のデータ“1”を加算する処理を2回実施するから1回目で $-1+1$ で“0”，2回目で $0+1$ で“1”となる。

【0044】以下、同様な処理の結果図4hに実線で示されるような信号が得られる。

【0045】信号hは等化器14に供給される。等化器14では磁気記録系11で説明したのと同様な $(1-D)$ なる等化が実施され、図4に示される信号iとされる。信号iは切換手段17により1ビット毎に検出器18、19に交互に供給される。このため、検出器18には例えば信号iのタイミングで信号が供給され、検出器19にはλのタイミングで信号が供給されるものとすると、検出器18に供給される信号は図4jに実線で示すような波形となり、また、検出器19に供給される信号は図4kに実線で示すような波形となる。

【0046】検出器18では信号jに対して $[1/(1-2D^2+D^4)]$ なる検出が実施され、検出器19では信号kに対して $[1/(1-2D^2+D^4)]$ なる検出が実施される。検出器18の出力信号と検出器19の出力信号とを合成すると図4lに示すようなデータを得、記録データaが復元される。図5に各方式の規格化線密度に対するS/N利得特性図を示す。同図中、一点鎖線はPRML方式、破線はEPRML方式の特性を示し、実線は本実施例の特性を示す。

【0047】図6に規格化線密度の説明図を示す。再生波形(ローレンツ波形)の半分のレベルの幅が半値幅、

再生波形を再生するためのビットの周期がビット周期となる。規格化線密度は〔(半値幅) / (ビット周期)〕により定義される。

【0048】図6に示すように本実施例によれば、EPRML方式により信号処理が行なえるため、PRML方式より高SN利得化が行なえると共にPR方式同様に2分割して検出できるため、高速処理が行なえる。

【0049】このように、本実施例によれば、検出器15が〔 $1 / (1 - 2D^2 + D^4)$ 〕なる検出となり、偶数倍の遅延で実現できるため、検出器18、19に分割でき、従って、1ビットおきの処理が行なえ、最も複雑な処理を必要とする検出器18、19の処理を高速化が実現できるため、全体の処理スピードを向上させることができる。

【0050】また、本実施例によれば、等化器14により $1-D$ なる処理を施すため、本来の0レベルは確保しつつも、上下レベルの非対称を補償できる。

【0051】図7に0レベル補償動作説明図を示す。図7(A)は等化器14に供給される信号、図7(B)は出力信号を示す。

【0052】等化器14では $(1-D)$ なる等化が実施される。このため、時刻 $t_1$ の信号レベル $L_2$ は時刻 $t_1$ における信号レベル $L_1$ 、時刻 $t_0$ の信号レベル $L_1$ を減じた値となり、0レベルはそのまま前後信号レベルの非対称を平均化できる。

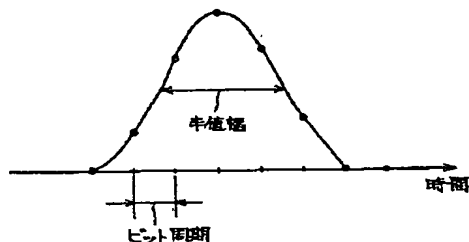
【0053】図8に本発明の第2実施例の構成図を示す。同図中、図2と同一構成部分には同一符号を付し、その説明は省略する。

【0054】本実施例は等化器14の後にトランスバースフィルタ等の線形フィルタ41を設けることにより、磁気記録系11の再生信号の上下レベルの非対称の影響を補正したものである。

【0055】本実施例によれば、第1実施例に比べ、さらに上下レベル非対称の影響を除去できる。

【図6】

規格化線密度を説明するための図



## 【0056】

【発明の効果】上述の如く、本発明によれば、〔 $1 / (1 - 2D^2 + D^4)$ 〕なる検出を2系統に分割して所定の周期毎に交互に検出できるため、夫々の系統での検出処理の負担を軽減でき、したがって、全体の処理速度を上げることができるため、高速化が行なえる等の特長を有する。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理図である。

10 【図2】本発明の第1実施例の構成図である。

【図3】本発明の第1実施例の検出器の構成図である。

【図4】本発明の第1実施例の動作波形図である。

【図5】本発明の第1実施例の動作特性図である。

【図6】規格化線密度を説明するための図である。

【図7】本発明の第1実施例の波形補償動作説明図である。

【図8】本発明の第2実施例の構成図である。

【図9】PRML方式の磁気記録再生系の構成図である。

20 【図10】PRML方式の磁気記録再生系の動作波形図である。

【図11】EPRML方式の磁気記録再生系の構成図である。

【図12】MRヘッドの動作特性図である。

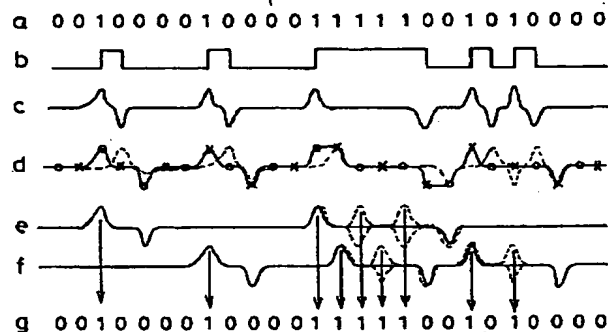
【図13】0レベル補償動作説明図である。

## 【符号の説明】

- 1 伝送路
- 2 第1の等化手段
- 3 第2の等化手段
- 30 4 切換手段
- 5 第1の検出手段
- 6 第2の検出手段
- 14 等化器
- 41 波形フィルタ

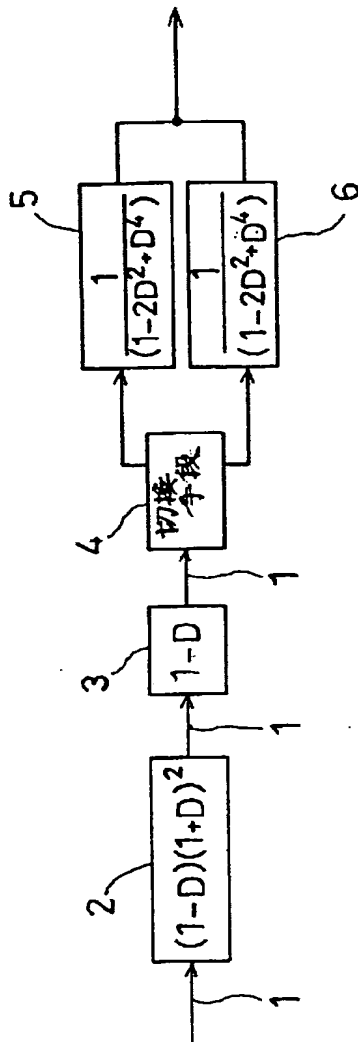
【図10】

従来の一例の動作波形図



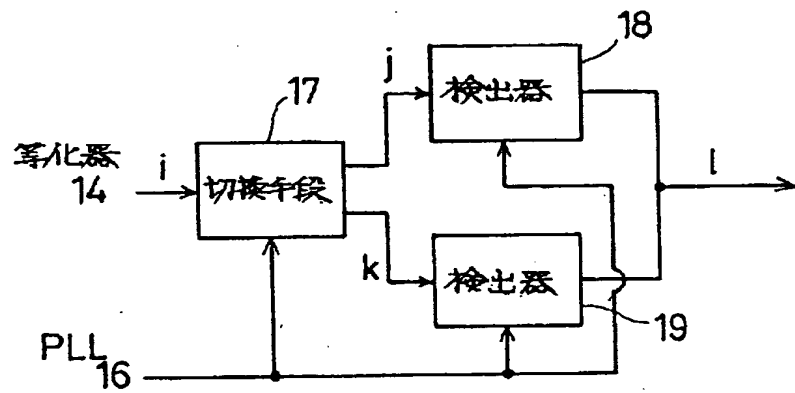
【図1】

本発明の原理図



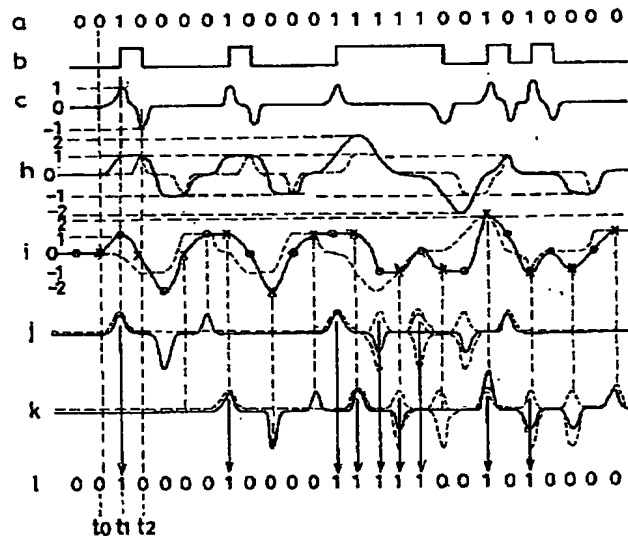
【図3】

本発明の第1実施例の検出器の構成図



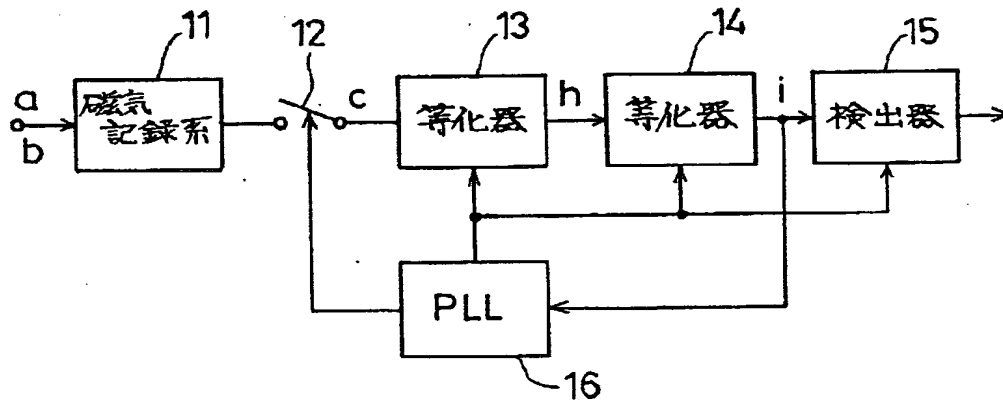
【図4】

本発明の一実施例の動作波形図



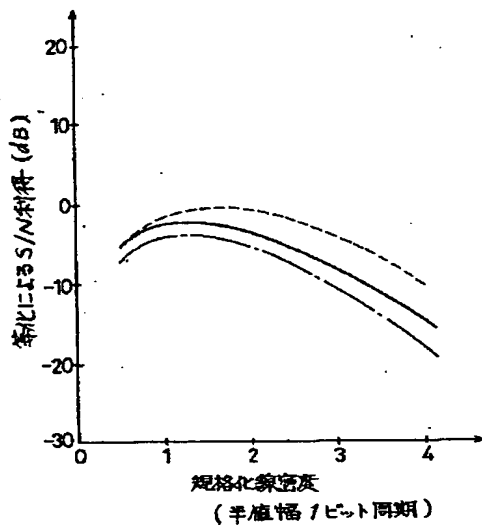
【図2】

## 本発明の第1実施例の構成図



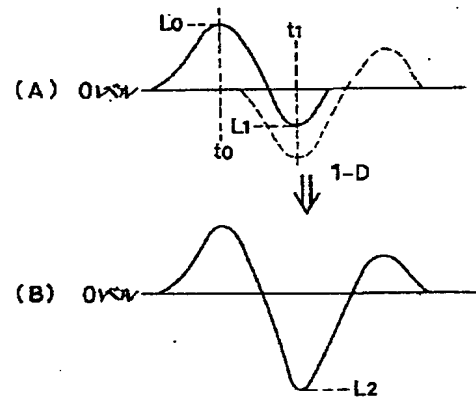
【図5】

各方式の規格化線密度に対するS/N利得特性図



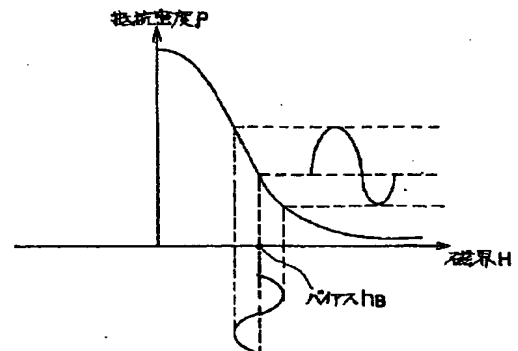
【図7】

本発明の第1実施例の波形補償動作説明図



【図12】

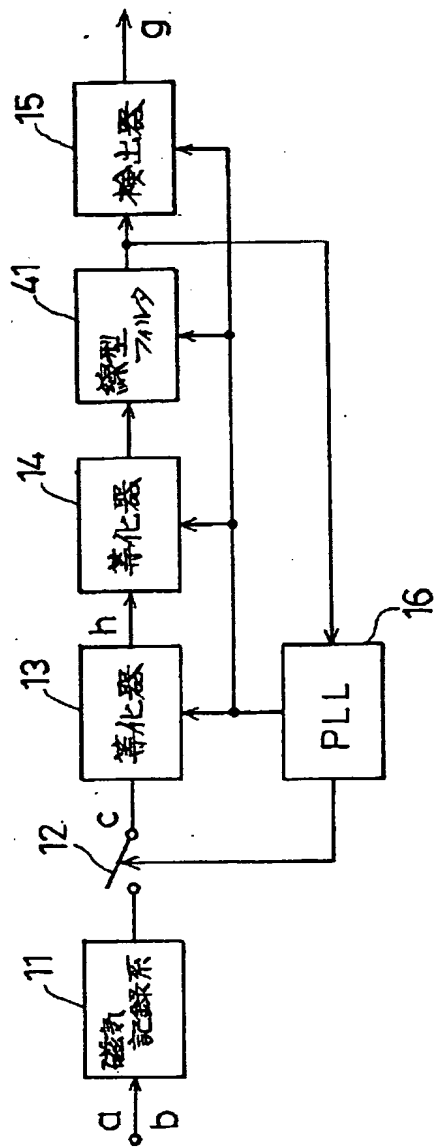
MRヘッドの動作特性図





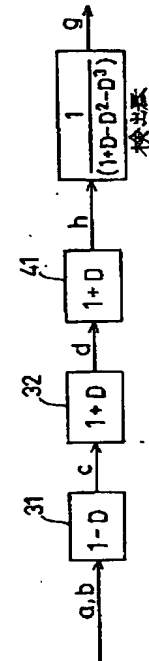
【図 8】

本発明の第2実施例の構成図



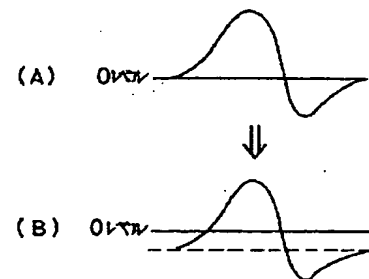
【図 11】

EPRML 方式の記録再生系の構成図



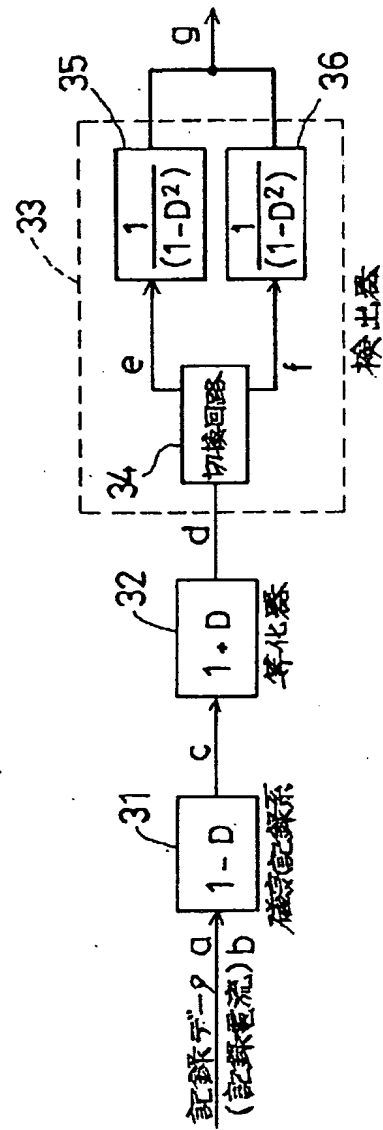
【図 13】

図12の動作説明図



【図9】

## PRML方式による磁気記録再生系の構成図



From the INTERNATIONAL BUREAU

**PCT**INFORMATION CONCERNING ELECTED  
OFFICES NOTIFIED OF THEIR ELECTION

(PCT Rule 61.3)

To:

TAKEUCHI, Susumu  
8 Floor, Shimizu Building  
25-47, Nishi-Shinbashi 3-chome  
Minato-ku, Tokyo 105-0003  
JAPON

03. 2. 27

Date of mailing( <i>day/month/year</i> ) 13 February 2003 (13.02.03)		
Applicant's or agent's file reference P2367PCT		IMPORTANT INFORMATION
International application No. PCT/JP01/006506	International filing date( <i>day/month/year</i> ) 27 July 2001 (27.07.01)	Priority date( <i>day/month/year</i> )
Applicant FUJITSU LIMITED, et al		

1. The applicant is hereby informed that the International Bureau has, according to Article 31(7), notified each of the following Offices of its election:  
**National: JP, US**
2. The following Offices have waived the requirement for the notification of their election; the notification will be sent to them by the International Bureau only upon their request:  
**None**
3. The applicant is reminded that he must enter the "national phase" **before the expiration of 30 months from the priority date before each of the Offices listed above**. This must be done by paying the national fee(s) and furnishing, if prescribed, a translation of the international application (Article 39(1) (a)), as well as, where applicable, by furnishing a translation of any annexes of the international preliminary examination report (Article 36(3) (b) and Rule 74.1).  
  
Some offices have fixed time limits expiring later than the above-mentioned time limit. For detailed information about the applicable time limits and acts to be performed upon entry into the national phase before a particular Office, see Volume II of the PCT Applicant's Guide.

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland	Authorized officer  Judith Zahra
Facsimile No.(41-22) 740.14.35	Telephone No.(41-22) 338.91.11

## PATENT COOPERATION TREATY

From the INTERNATIONAL BUREAU

**PCT**NOTICE INFORMING THE APPLICANT OF THE  
COMMUNICATION OF THE INTERNATIONAL  
APPLICATION TO THE DESIGNATED OFFICES

(PCT Rule 47.1(c), first sentence)

To:

TAKEUCHI, Susumu  
8 Floor, Shimizu Building  
25-47, Nishi-Shinbashi 3-chome  
Minato-ku, Tokyo 105-0003  
JAPONDate of mailing(*day/month/year*)

13 February 2003 (13.02.03)

Applicant's or agent's file reference  
P2367PCT**IMPORTANT NOTICE**International application No.  
PCT/JP01/006506International filing date(*day/month/year*)  
27 July 2001 (27.07.01)Priority date(*day/month/year*)

Applicant

FUJITSU LIMITED, et al

1. Notice is hereby given that the International Bureau has **communicated**, as provided in Article 20, the international application to the following designated Offices on the date indicated above as the date of mailing of this notice:

US

In accordance with Rule 47.1(c), third sentence, those Offices will accept the present notice as conclusive evidence that the communication of the international application has duly taken place on the date of mailing indicated above and no copy of the international application is required to be furnished by the applicant to the designated Office(s).

2. The following designated Offices have waived the requirement for such a communication at this time:

JP

The communication will be made to those Offices only upon their request. Furthermore, those Offices do not require the applicant to furnish a copy of the international application (Rule 49.1(a-bis)).

3. Enclosed with this notice is a copy of the international application as published by the International Bureau on 13 February 2003 (13.02.03) under No. WO 03/012789.

4. **TIME LIMITS for filing a demand for international preliminary examination and for entry into the national phase**

The applicable time limit for entering the national phase will, **subject to what is said in the following paragraph**, be **30 MONTHS** from the priority date, not only in respect of any elected Office if a demand for international preliminary examination is filed before the expiration of **19 months** from the priority date, but also in respect of any designated Office, in the absence of filing of such demand, where Article 22(1) as modified with effect from 1 April 2002 applies in respect of that designated Office. For further details, see *PCT Gazette* No. 44/2001 of 1 November 2001, pages 19926, 19932 and 19934, as well as the *PCT Newsletter*, October and November 2001 and February 2002 issues.

In practice, **time limits other than the 30-month time limit** will continue to apply, for various periods of time, in respect of certain designated or elected Offices. For **regular updates on the applicable time limits** (20, 21, 30 or 31 months, or other time limit), Office by Office, refer to the *PCT Gazette*, the *PCT Newsletter* and the *PCT Applicant's Guide*, Volume II, National Chapters, all available from WIPO's Internet site, at <http://www.wipo.int/pc/en/index.html>.

For filing a **demand for international preliminary examination**, see the *PCT Applicant's Guide*, Volume I/A, Chapter IX. Only an applicant who is a national or resident of a PCT Contracting State which is bound by Chapter II has the right to file a demand for international preliminary examination (at present, all PCT Contracting States are bound by Chapter II).

It is the applicant's **sole responsibility** to monitor all these time limits.

The International Bureau of WIPO  
34, chemin des Colombettes  
1211 Geneva 20, Switzerland

Authorized officer

Judith Zahra

Facsimile No.(41-22) 740.14.35

Telephone No.(41-22) 338.91.11

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2003 年 2 月 13 日 (13.02.2003)

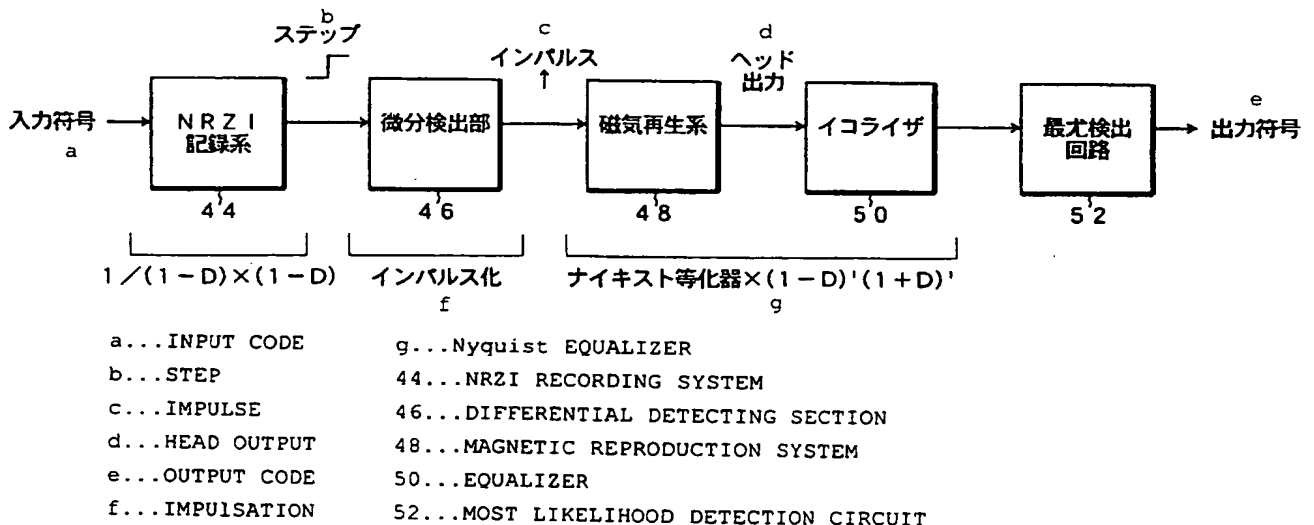
PCT

(10) 国際公開番号  
WO 03/012789 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: G11B 20/14, 20/10 Hiroshi) [JP/JP]. 笠井希一郎 (KASAI, Kiichiro) [JP/JP]; 〒211-8588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP01/06506
- (22) 国際出願日: 2001 年 7 月 27 日 (27.07.2001)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (74) 代理人: 竹内 進, 外(TAKEUCHI, Susumu et al.); 〒105-0003 東京都港区西新橋3丁目25番47号 清水ビル 8階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): JP, US.
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 富士通株式会社 (FUJITSU LIMITED) [JP/JP]; 〒211-8588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 Kanagawa (JP).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告書
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 宇野廣司 (UNO, 2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: SIGNAL PROCESSING METHOD, SIGNAL PROCESSING CIRCUIT AND INFORMATION RECORDER/REPRODUCER

(54) 発明の名称: 信号処理方法、信号処理回路及び情報記録再生装置



(57) Abstract: Information is recorded on a medium utilizing partial response and then it is reproduced from the medium. A reproduction system performs equalization including convolution of (k-s-D) (where, D is a 1-bit delay operator, k and s are positive integers) on a signal reproduced from the medium. Noise is reduced in low frequency band and error rate is improved by performing such a convolution in the reproduction system. The information is decoded from an equalized signal through most likelihood detection.

[続葉有]



---

(57) 要約:

パーシャルレスポンスを利用して媒体に情報を記録した後に媒体から情報を再生する。再生系は媒体からの再生信号に

$$(k - s \cdot D)$$

(但し、 $D$ は1ビット遅延演算子、 $k$ 、 $s$ は正の整数)

の畳み込み操作を含む等化が行われる。このような畳み込み操作を再生系で行うことにより、低周波帯域のノイズを削減しエラーレートを改善する。等化信号からは最尤検出により情報が復号される。

## 明 細 書

## 信号処理方法、信号処理回路及び情報記録再生装置

## 5 技術分野

本発明は、パーシャルレスポンスを利用した信号処理方法、信号処理回路及び情報記録再生装置に関し、特に、媒体ノイズを低減して高密度記録するために最適な信号処理方法、信号処理回路及び情報記録再生装置に関する。

## 10 背景技術

近年、磁気ディスク装置の記録密度が飛躍的に増大している。これは高感度なMRヘッド（磁気抵抗効果ヘッド）に負うところが多い。また同時に信号処理方法が従来のピーク検出方法から低SN比で再生可能なPR4ML法（パーシャルレスポンス・クラス4・最尤検出方法）が実用化されたことによるところが多い。

PR4ML法は、パーシャルレスポンスを利用して波形干渉を取り除くと共に、帯域の低減によりノイズを削減し、

$$U(T) = (1 - D) \cdot (1 + D)^n$$

D：1ビット遅延を示す遅延演算子

にしたがった畳み込み操作を施した後、ビタビアルゴリズムによる最尤検出回路によりノイズなどによる外乱をふくんだ再生信号から尤も確からしい信号を探し出すものである。

ここで、 $(1 + D)$  の畳み込み操作は、図1に示す伝達関数を有し、高周波帯域のノイズを削減するため、次数nを2、3と増やす改良がなされている。その結果、最尤検出回路は複雑化したが、エラーレートは改善された。

しかし、この改善方法では、高周波帯域のノイズの削減のみであったため、次数nは3が限度で、それ以上増しても、エラーレートの改善は少なかった。

磁気記録で再生されるノイズには、高周波帯域よりも低周波帯域のパワーの大きいノイズが多い。高周波帯域のノイズは、プリアンプノイズ、MRヘッドのノ

イズ等の帯域全体に渡ってほぼ一様に分布するノイズが大半である。それに対し媒体ノイズは、記録媒体の材料にもよるが、比較的低周波帯域にパワーのピークが存在する。近年では、1ビットの面積が磁性材料の粒子に近づくため、媒体ノイズが大きくなることにより、図2に示すような極端に低周波帯域にパワーのピークが存在する記録媒体もある。また隣接トラックからのサイドクロストークも、その性質上、低周波帯域なる程大きくなる。

従来、低周波帯域のノイズに対しては、PR4ML法における(1-D)の畳み込み操作で十分と考えられてきた。ここで、(1-D)の畳み込み操作は、図3に示す伝達特性を有し、低周波帯域のノイズを削減すると考えられていた。しかし、磁気記録におけるこの畳み込み操作は、実際には媒体ノイズが発生する前の記録系で行われており、その等化目標は図4に示す特性であり、(1-D)の畳み込み操作は低周波帯域のノイズには何ら作用しておらず、媒体ノイズは(1-D)の畳み込み操作による伝達特性の影響を受けていなかった。

## 15 発明の開示

本発明は、低周波帯域のノイズを削減し、記録密度の向上をはかるパーシャルレスポンスを利用した信号処理方法、信号処理回路及び情報記録再生装置を提供することを目的とする。

また本発明は、媒体ノイズを削減し、再生エラーレートの向上をはかるパーシャルレスポンスを利用した信号処理方法、信号処理回路及び情報記録再生装置を提供することを目的とする。

更にサイドクロストークを削減し、再生エラーレートの向上を図るパーシャルレスポンスを利用した信号処理方法、信号処理回路及び情報記録再生装置を提供することを目的とする。

25 本発明は、パーシャルレスポンスを利用して媒体に情報を記録した後に媒体から情報を再生する信号処理方法であって、媒体からの再生信号に

$$(k - s \cdot D)$$

但し、D：1ビット遅延演算子

k, s：正の整数



の畳み込み操作を含む等化処理を行うことを特徴とする。ここで、本発明は、 $(k - s \cdot D)$  の畳み込み操作により等化処理された信号から最尤検出により情報を復号する。

5      このように本発明は、 $(k - s \cdot D)$  の畳み込み操作を再生系で行うことにより、低周波帯域のノイズを削減することが可能となり、エラーレートを改善できる。また、畳み込み操作を  $(k - s \cdot D)$  とし、 $k$ 、 $s$  を最適化することにより、媒体ノイズの特性に合った最適なフィルタ特性とすることができ、エラーレートが改善できる。

10      また本発明は、パーシャルレスポンスを利用して記録系により媒体に情報を記録し、再生系により前記媒体から情報を再生する信号処理回路であって、再生系に、媒体からの再生信号に

$$(k - s \cdot D)$$

但し、 $D$  : 1 ビット遅延演算子

$k$ 、 $s$  : 正の整数

15      の畳み込み操作を行う等化器を設けたことを特徴とする。この信号処理回路は、更に等化器の出力信号から最尤検出により情報を復号する最尤検出器を設けている。

本発明は、パーシャルレスポンスを利用して記録系により媒体に情報を記録し、再生系により媒体から情報を再生する情報記録再生装置であって、再生系に、  
20      媒体からの出力信号に

$$(k - s \cdot D)$$

但し、 $D$  : 1 ビット遅延演算子

$k$ 、 $s$  : 正の整数

25      の畳み込み操作を行う等化器を設けたことを特徴とする。この情報記録再生装置は、更に等化器の出力信号から最尤検出により情報を復号する最尤検出器を設けている。

本発明は、パーシャルレスポンスを利用して媒体に情報を記録した後に媒体から情報を再生する信号処理方法であって、媒体に記録する記録信号に

$$(1 - D)$$

但し、 $D$  : 1 ビット遅延演算子  
の畳み込み操作を行い、媒体からの再生信号に

$$(k - s \cdot D) \cdot (1 + D)^n$$

但し、 $D$  : 1 ビット遅延演算子

5  $k, s$  : 正の整数

$n$  : 2 以外の正の整数

の畳み込み操作を含む等化処理を行う。このように等化処理された信号から最尤検出により情報を復号する。

このように本発明は、入力信号に対する記録系での  $(1 - D)$  の畳み込み操作  
10 (媒体に起因した低周波ノイズの低減作用はない) に加え、 $(k - s \cdot D)$  の畳み込み操作を再生系で行うことにより、低周波帯域のノイズを削減し、更に  $(1 - D)$  の畳み込み操作を再生系で行って高周波ノイズを削減し、エラーレートを改善できる。また、畳み込み操作を  $(k - s \cdot D)$  とし、 $k, s$  を最適化することにより、媒体ノイズの特性に合った最適なフィルタ特性とすることができ、エ  
15 ラーレートが改善できる。

本発明は、パーシャルレスポンスを利用して、記録系により媒体に情報を記録し、再生系により前記媒体から情報を再生する信号処理回路であって、記録系に、媒体に記録する記録信号に

$$(1 - D)$$

20 但し、 $D$  : 1 ビット遅延演算子

の畳み込み操作を行う回路部を設け、再生系に、前記媒体からの出力信号に

$$(k - s \cdot D) \cdot (1 + D)^n$$

但し、 $D$  : 1 ビット遅延演算子

$k, s$  : 正の整数

25  $n$  : 2 以外の正の整数

の畳み込み操作を行う等化器を設けたことを特徴とする。更に、等化器の出力信号から最尤検出により情報を復号する最尤検出器が設けられる。

本発明は、パーシャルレスポンスを利用して、記録系により媒体に情報を記録し、再生系により媒体から情報を再生する情報記録再生装置であって、記録系に

、媒体に記録する記録信号に

$$(1 - D)$$

但し、 $D$  : 1 ビット遅延演算子

の畳み込み操作を行う回路部を設け、再生系に、媒体からの出力信号に

5  $(k - s \cdot D) \cdot (1 + D)^n$

但し、 $D$  : 1 ビット遅延演算子

$k, s$  : 正の整数

$n$  : 2 以外の正の整数

の畳み込み操作を行う等化器を設けたことを特徴とする。更に、等化器の出力信

10 号から最尤検出により情報を復号する最尤検出器を設けられる。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は従来の再生系で行っている  $(1 + D)$  の畳み込み操作による伝達特性図；

図 2 は媒体ノイズのパワースペクトルの特性図；

15 図 3 は従来の記録系で行っている  $(1 - D)$  の畳み込み操作による伝達特性図；

図 4 は従来の PR4ML 法における等化目標の特性図；

図 5 は本発明が適用されたハードディスクドライブのブロック図；

図 6 は  $(1 - D)^2 \cdot (1 + D)^1$  PRML 構成を対象とした本発明の第 1 実施形態のブロック図；

20 図 7 は図 6 の第 1 実施形態における等化目標の特性図；

図 8 は図 6 のイコライザ出力に表れるインパルス応答波形の説明図；

図 9 は図 6 の第 1 実施形態に基づく図 5 のリードチャネルのブロック図；

図 10 は図 9 におけるヘッド・媒体系の伝送特性図；

図 11 は図 9 のローパスフィルタを含めたイコライザの伝達特性図；

25 図 12 は図 7 の等化目標特性を与える  $H(f) \cdot Q(f) = R(f) \cdot G(f)$  の関係を伝達特性図によって表した説明図；

図 13 は図 9 の最尤検出回路で用いるトレリス線図；

図 14 は図 9 の最尤検出回路のブロック図；

図 15 は  $(1 - D)^2 \cdot (1 + D)^1$  PRML による記録再生のタイムチャート；

- 図16は  $(1-D) \cdot (1-2D) \cdot (1+D)^{-1}$  PRML構成を対象とした本発明の第2実施形態のブロック図；
- 図17は図16の第2実施形態における等化目標の特性図；
- 図18は図16のイコライザ出力に表れるインパルス応答波形の説明図；
- 5 図19は図16のイコライザの伝達特性図；
- 図20は図17の等化目標特性を与える  $H(f) \cdot Q(f) = R(f) \cdot G(f)$  の関係を伝達特性図によって表した説明図；
- 図21は図16の最尤検出回路で用いるトレリス線図；
- 図22は  $(1-D) \cdot (1-2D) \cdot (1+D)^{-1}$  PRMLによる記録再生のタイム
- 10 チャート；
- 図23は  $(1-D) \cdot (3-2D) \cdot (1+D)^{-1}$  PRML構成を対象とした本発明の第3実施形態のブロック図；
- 図24は図23の第3実施形態における等化目標の特性図；
- 図25は図23のイコライザ出力に表れるインパルス応答波形の説明図；
- 15 図26は図23のイコライザの伝達特性図；
- 図27は図24の等化目標特性を与える  $H(f) \cdot Q(f) = R(f) \cdot G(f)$  の関係を伝達特性図によって表した説明図；
- 図28は図23の最尤検出回路で用いるトレリス線図；
- 図29は  $(1-D) \cdot (3-2D) \cdot (1+D)^{-1}$  PRMLによる記録再生のタイム
- 20 チャート；
- 図30は  $(1-D) \cdot (3-2D) \cdot (1+D)^{-2}$  PRML構成を対象とした本発明の第4実施形態のブロック図；
- 図31は図30の第4実施形態における等化目標の特性図；
- 図32は図30のイコライザ出力に表れるインパルス応答波形の説明図；
- 25 図33は図30のイコライザの伝達特性図；
- 図34は図31の等化目標特性を与える  $H(f) \cdot Q(f) = R(f) \cdot G(f)$  の関係を伝達特性図によって表した説明図；
- 図35は図30の最尤検出回路で用いるトレリス線図；
- 図36は  $(1-D) \cdot (3-2D) \cdot (1+D)^{-2}$  PRMLによる記録再生のタイム

チャート；

発明を実施するための最良の形態

図5は、本発明が適用されるハードディスクドライブのブロック図である。図5において、ハードディスクドライブは、SCSIコントローラ10、ドライブコントロール12及びディスクエンクロージャ14で構成される。勿論、ホストとのインタフェースはSCSIコントローラ10に限定されず、適宜のインタフェースコントローラが使用できる。SCSIコントローラ10には、MCU（メインコントロールユニット）16、制御記憶として使用されるDRAMもしくはSRAMを用いたメモリ18、制御プログラムを格納するフラッシュメモリなどの不揮発性メモリを使用したプログラムメモリ20、ハードディスクコントローラ（HDC）22及びデータバッファ24が設けられる。ドライブコントロール12には、ドライブロジック26、DSP28、リードチャネル（RDC）30及びサーボドライバ32が設けられる。更にディスクエンクロージャ14にはヘッドIC34が設けられ、ヘッドIC34に対し記録ヘッドと再生ヘッドを備えた複合ヘッド36-1～36-6を接続している。複合ヘッド36-1～36-6は磁気ディスク38-1～38-3の各記録面に対し設けられ、VCM40によるロータリアクチュエータの駆動で磁気ディスク38-1～38-3の任意のトラック位置に移動される。磁気ディスク38-1～38-3はスピンドルモータ42により一定速度で回転される。

図6は本発明の第1実施形態における基本構成を示したブロック図であり、この第1実施形態にあっては $(1-D)^2(1+D)^1$ PRML構成を対象としている。この第1実施形態における磁気記録再生系は、NRZI記録系44、微分検出部46、磁気再生系48、イコライザ50及び最尤検出回路52で構成される。この第1実施形態における信号処理は、まず入力符号をNRZI記録系44でステップ状に媒体に記録することにより、 $1/(1-D)$ のプリコードと $(1-D)$ の畳み込み演算を同時に行うことができる。この媒体に記録された入力符号を微分検出部46としてのヘッドにより微分検出することにより、インパルス化される。MR（磁気抵抗効果ヘッド）でも磁束の垂直成分を検出することによ

り微分検出部46と同様のインパルス化が得られる。ヘッド出力としては、媒体とヘッドの周波数特性で定まる磁気再生系48の伝達特性 $H(f)$ のインパルス応答波形が再生される。この磁気再生系48の伝達特性 $H(f)$ とイコライザ50の伝達特性 $Q(f)$ の積が、再生系の等化目標であるナイキスト等化器の伝達特性 $R(f)$ と $(1-D) \cdot (1+D) = G(f)$ の積で与えられる特性となる。即ち、この関係は次式のようになる。

$$H(f) \cdot Q(f) = R(f) \cdot G(f) \quad (1)$$

図7は(1)式で与えられる図6の第1実施形態での再生系の等化目標特性54を示す。ここで破線の特性56はナイキスト等化器のコサイン・ロールオフ特性 $R(f)$ であり、 $f_n$ はナイキスト周波数である。この図7の第1実施形態の等化目標特性54を図4の従来の等化目標特性と比べてみると、第1実施形態の等化目標特性54にあっては低周波帯域での利得が十分に低減されている。

このような等化目標特性54を実現するための図6のイコライザ50の伝達特性 $Q(f)$ は、(1)式より

$$Q(f) = R(f) / \{H(f) \cdot G(f)\} \quad (2)$$

となるように調整される。この(2)式の伝達特性 $Q(f)$ に調整されたイコライザ50の出力には、図8に示すインパルス応答波形58が得られる。このインパルス応答波形58にあっては、時間 $-1T$ で $+1$ 、時間 $+1T$ で $-1$ 、その他の時間 $\pm nT$  ( $n$ は整数)で0となるパーシャルスレスポンス等化波形が得られる。ここで時間 $T$ は $T = 1 / f_n$ である。また破線のインパルス応答波形60は負のインパルスに対する応答波形である。このインパルス応答波形は、説明の便宜上、ノイズのない波形を示しているが、実際にはノイズが重畳した形となり、この値を中心にノイズにより変動するようになる。

図6の最尤検出回路52は、イコライザ50より出力されるノイズの重畳したパーシャルスレスポンス等化波形からビタビアルゴリズムに従って畳み込み符号を検出する。この第1実施形態ではNRZI記録系44の $(1-D)$ の畳み込みと磁気再生系48における $(1-D) \cdot (1+D)$ の畳み込みがなされているので、これを展開すると次のようになる。

$$(1-D)^2 \cdot (1+D) = 1 - D - D^2 + D^3$$

このため入力符号「1」に対し「1, -1, -1, 1」の畳み込み符号を検出して出力符号を出力する。

- ここで磁気再生系48において低周波帯域での利得を制限するための(1-D)の畳み込み操作は、一般形として(k-s·D)で表わされる。このため第1
- 5 実施形態にあっては、k=1, s=1とした場合である。更に記録系及び再生系を含めた全体の畳み込み操作は

$$(1-D) \cdot (k-s \cdot D) \cdot (1+D)^n$$

- と一般形で表わされる。このため、再生系で高周波帯域での利得を減衰するための(1+D)<sup>n</sup>の畳み込みは、この第1実施形態にあってはn=1の場合である
- 10 ことが分かる。

- 図9は図5のハードディスクドライブに使用しているリードチャネル30に図6の本発明の第1実施形態を適用した場合のブロック図である。図9において、記録系は、エンコーダ62、ライトコンペ回路64、NRZI変換回路66、ライトアンプ68及びライトヘッド70で構成される。また再生系はリードヘッド
- 15 72、プリアンプ74、AGC回路76、ローパスフィルタ78、サンプル回路80、イコライザ82、最尤検出回路84、デコーダ86及びVFO回路88で構成される。

- 図9のリードチャネルについて、その動作を説明すると次のようになる。入力されたデータはエンコーダ62で連続する0の数が制限された例えば8/9RL
- 20 L符号に変換される。ライトコンペ回路64はNLTS（非線形シフト）を補償するため記録位置を予め僅かに移動させる。NRZI変換回路66はフリップフロップ1段で構成され、RZ（Return to Zero）からNRZI（Non-Return to Zero Interleave）符号に変換する。このNRZI変換回路66における変換の際に、1/(1-D)のプリコードと(1-D)の畳み込みの演算が効果的に行
- 25 われる。ライトアンプ68はデータに対応した記録電流をライトヘッド70に流して駆動し、図示しない媒体に磁氣的に記録させる。リードヘッド72は媒体の磁化の変化を検出するための微分検出特性を持っており、そのためステップ状に記録されたデータが微分されたインパルスとしてリードヘッド72により検出される。同時に媒体は、その周波数特性に応じた伝達特性を備えているため、リー

ドヘッド72からはローレンツの近似式として知られるインパルス応答波形が出力される。この媒体とヘッドの周波数特性で定まる磁気再生系の伝達特性 $H(f)$ は、例えば図10の伝達特性90に示すように、低周波帯域で大きく高周波帯域となるほど減衰する特性となる。

- 5      再び図9を参照するに、ヘッド再生信号はプリアンプ74で増幅された後、更にAGC回路76でヘッド再生信号の振幅が一定に制御され、ローパスフィルタ78で不要なノイズが除去される。このローパスフィルタ78は後段のイコライザ82の一部を構成する。サンプル回路80では、VFO回路88からのクロックにより再生信号をサンプルホールドするか、あるいはA/Dコンバータにより  
10    離散化する。イコライザ82はトランスバーサルフィルタなどで構成され、その伝達特性は前段のローパスフィルタ78の伝達特性との積が(2)式で示される伝達特性 $Q(f)$ となるように調整される。このイコライザ82としては、再生信号に応じて自動的に調整する適応型とすることもできる。

- 図11は図9のローパスフィルタ78を含めたイコライザ82の伝達特性 $Q(f)$   
15     $f)$ を概略的な特性92として示している。この第1実施形態における特性92で与えられるイコライザ伝達特性 $Q(f)$ は、低周波帯域が十分に減衰され、高周波でブーストした後、ナイキスト周波数 $f_n$ で減衰する特性となる。

- 再び図9を参照するに、VFO回路88は再生信号に同期したクロック信号を発生するもので、例えば特開平1-143447号に開示された方法で実現でき  
20    る。またイコライザ回路82を $(1+D)$ フィルタと $(1-D)$ フィルタの部分に分け、 $(1+D)$ フィルタの出力をVFO回路88に入力することにより、従来技術で実現することができる。

- 図12は図7の等化目標特性54を与える(1)式の関係性を伝達特性図によって表わしている。図12において、(1)式の右辺は、図の上段に示すように、  
25    ナイキスト等化器のコサインロールオフ特性 $R(f)$ と $(1-D) \cdot (1+D)$ の畳み込み操作となる $G(f)$ との積で与えられる。また(1)式の左辺は、図の下段に示すように、磁気再生系の伝達特性 $H(f)$ とイコライザ伝達特性 $Q(f)$ の積となり、これが中段の等化目標特性54を与える。したがって、 $R(f) \times G(f)$ で与えられる等化目標特性54を磁気再生系の伝達特性 $H(f)$



で割った(2)式により、イコライザ82の調整すべき伝達特性 $Q(f)$ を得ることができる。

次に図9の最尤検出回路84を説明する。最尤検出回路84は、イコライザ82の出力するパーシャルスレスポンス等化波形から「1, -1, -1, 1」の畳み込み符号を、ビタビアルゴリズムにより時系列的に検出するように動作する。

図13は「1, -1, -1, 1」の畳み込み符号についての可能な組合せを示すトレリス線図である。このトレリス線図において、左側 $(n-3)$ ビットから $(n-1)$ ビットまでの3ビットについての8種類のノードを表わしている。右側は1ビット進んだ $(n-2)$ ビットから $n$ ビットの3ビットを表わし、次のビットが「0」か「1」かで、ビット「0」の場合は破線の状態に移行し、ビット「1」の場合は実線の状態に移行する。更に、このとき取り得る電圧値を左側の3ビットの上下に示している。この電圧値は、畳み込み符号「1, -1, -1, 1」が重複する範囲内でずれたときに加算合成される「+2, +1, 0, -1, -2」の値をとる。また1ビットを4ビットに畳み込んでいる拘束長=4であるため、前3ビットは前方のビットの影響を受けるが、4ビット目は影響を受けずに一義的に決まる。例えば $(n-3)$ ビットから $(n-1)$ ビットまでの前3ビットが「000」のとき、電圧値が0であれば一番上の破線のように $n$ ビット目は「0」に移行し、電圧値が+1のときはその下の実線のように $n$ ビット目が「1」に移行する。

次に図13のトレリス線図を用いた最尤検出法について説明する。最尤検出の原理は、図13のトレリス線図目標とされる電圧値と実際のサンプル電圧(ノイズにより目標電圧値よりずれている)との差を二乗し、これを各ビットで累積加算して累積二乗誤差を求める。この累積二乗誤差をトレリス線図で示される可能性のある全ての組合せについて求め、それらの累積二乗誤差が最も小さい組合せ(パス)が最も確からしいとして検出される。

図14は図9の最尤検出回路84の具体例を示したブロック図である。二乗誤差検出回路94では、図13のトレリス線図の目標とされる16個の電圧値とパーシャルスレスポンス等化波形のサンプル値の差により16種類の二乗誤差が検出される。累積二乗誤差保持回路100には図13のトレリス線図における8種

のノードに対応する8種のノード累積二乗誤差が保持されている。累積二乗誤差計算回路96では、8種のノード累積二乗誤差と16種のノード累積二乗誤差をそれぞれ加算し、新たな16種の分岐累積二乗誤差を計算する。比較選択回路98は、図13のトレリス線図の右側の各ノードに応じて2種の矢印で示される分岐累積二乗誤差を比較し、小さい方のデータを確からしいとして、そのデータと選択信号をバスメモリ102に出力する。同時に、選択されたデータに対応する分岐累積二乗誤差を新たなそのノードのノード累積二乗誤差として累積二乗誤差保持回路100に出力する。バスメモリ102は、選択されたバスを記憶する多段のレジスタで構成され、比較選択回路98からの選択データを記憶すると共に、選択信号に従い各段のデータを図13のトレリス線図に示すようにコピーする。これにより各段で半数のバスが生き残り、また半数のバスが消滅する。このバスの比較選択を繰り返すことにより最も確からしいバスのみが最後まで生き残り、最尤検出される。バスメモリ102で最尤検出された符号はポストコード104で演算されて検出データとなり、最終的に図9のデコーダ86で9/8変換されてデータとなる。

図15(A)～(I)は、図9及び図14の記録再生系における処理を詳細に示したタイムチャートである。図15(A)のデータはエンコーダ62により8ビットごとに9ビットに変換する8/9RLL符号に変換され、図15(B)の入力符号となる。図15(C)のNRZI変換回路66の処理にあつては、まず $1/(1-D)$ の演算を行うが、これは入力符号と $1/(1-D)$ 演算の結果の1つ前のデータとを排他的論理和することと等価である。(1-D)の畳み込みは $1/(1-D)$ の演算結果を1つ遅延させて減算したものと等価である。この $1/(1-D)$ と(1-D)の演算はNRZI変換回路66のフリップフロップ1段で等価的に行われる。更に記録電流は「1」及び「-1」で向きが反転するように、ライトアンプ68がライトヘッド70を駆動する。媒体に記録された信号は図15(D)のリードヘッドの微分検出作用でインパルスとなり、媒体及びヘッドの伝達特性により図15(E)のようなインパルス応答波形がヘッド出力として得られる。イコライザ82は例えば10タップのトランスバーサルFIRフィルタで構成され、図15(F)のようにサンプル点の電圧が $\pm 2$ ,  $\pm 1$ ,

- 0の5値のそれぞれよりのずれ量に応じてイコライザ82の各タップゲインを調整することを繰り返すことにより、図11のような目標とする伝達特性 $Q(f)$ に自動的に調整することができる。この自動調整機能を備えたものが適応型イコライザと呼ばれ、その適応方法は最大傾斜法として知られている。この結果、イコライザ82から出力されるサンプル点の電圧は、図15(F)の黒ドットで示すように「+2, +1, 0, -1, -2」となり、ナイキスト等化されたパルスレスレスポンス波形とすることができる。なお図15(F)にあっては、説明の便宜上、ノイズのない波形を示しているが、実際にはノイズが重畳された波形となる。ノイズが重畳されていてもイコライザ82の動作は基本的には変わらない。最尤検出回路84にあっては、図14について既に説明したようにして畳み込み符号を検出する。図15(G)は、この最尤検出で生き残ったパスを実線で示し、破線は消滅したパスを表わしている。このようにして最尤検出されたデータは図14のポストコード104で演算されて図15(H)の出力符号となり、更に図9のデコーダ86で9/8変換されて、図15(I)のデータとなる。
- 図16は本発明の第2実施形態のブロック図であり、この第2実施形態にあっては $(1-D) \cdot (1-2D) \cdot (1+D)$ のPRML構成を対象としたことを特徴とする。図16において、第2実施形態はNRZI記録系44、微分検出部46、磁気再生系48、イコライザ106及び最尤検出回路108で構成される。このうち、NRZI記録系44から磁気再生系48までは図6の第1実施形態と基本的に同じになる。イコライザ106の伝達特性 $Q(f)$ は(2)式で示されるものであるが、(2)式右辺の中の $G(f)$ が異なる。即ち第2実施形態にあっては

$$G(f) = (2-D) \cdot (1+D)^{-1} \quad (3)$$

- となる。この場合の $R(f) \cdot G(f)$ で与えられる等化目標特性は、図17の特性110のようになる。なお特性56はナイキスト等化器のコサインロールオフ特性 $R(f)$ である。この第1実施形態における磁気再生系48及びイコライザ106による畳み込み操作となる $(2-D) \cdot (1+D)^{-1}$ は、一般系である $(k-s \cdot D) \cdot (1+D)^{-n}$ において、 $k=2$ ,  $s=1$ ,  $n=1$ とした場合であることが分かる。

図17の特性110で与えられる等化目標特性により、イコライザ106の出力には図18に示すインパルス応答波形112が得られる。このインパルス応答波形112は時間0で+2、時間1Tで+1、時間2Tで-1、その他の時間 $\pm nT$ （nは整数）で0となるパーシャルレスポンス等化波形が得られている。

5 。ここで破線は負のインパルスに対するパーシャルレスポンス等化波形114である。また図18にあっては説明の便宜上、ノイズのない波形を示しているが、実際にはノイズが重畳した波形となり、この値を中心に変動する。

図16の最尤検出回路108は、ノイズが重畳したイコライザ106から出力されるパーシャルレスポンス等化波形を入力し、ビタビアルゴリズムにより畳み込み符号を検出する。この第2実施形態では記録系の $(1-D)$ の畳み込み操作と、再生系の $(2-D) \cdot (1+D)^{-1}$ の畳み込み操作がなされており、

10

$$\begin{aligned} & (1-D) \cdot (2-D) \cdot (1+D) \\ & = 2-D-2D^2+D^3 \end{aligned}$$

と展開できる。このため入力符号「1」に対し「2, -1, -2, 1」の畳み込み符号を検出して出力符号を出力する。

15

次に図16の第2実施形態を図2のハードディスクドライブに設けているリードチャンネル30に適用した場合の具体的な構成を説明する。この第2実施形態をリードチャンネル30に適用した場合のブロック図は、図9の第1実施形態と同じであり、その機能についても記録系から再生系のサンプル回路80までは基本的に図9の第1実施形態と同じであり、イコライザ82及び最尤検出回路84が第2実施形態に固有な構成と動作をもつ。第2実施形態のイコライザ回路84の伝達特性 $Q(f)$ は、ローパスフィルタ78の伝達特性を含め、概略的には図19の伝達特性116となる。ここで破線の特性92は図11の第1実施形態のイコライザ伝達特性 $Q(f)$ である。この第1実施形態のイコライザ伝達特性92と

20

第2実施形態のイコライザ伝達特性116を対比してみると、第1実施形態の $(1-D)$ の畳み込み操作に対し、第2実施形態は $(2-D)$ の畳み込み操作を行うことで、低周波帯域の利得が大きくなっていることが分かる。

25

図20は第2実施形態における図17の等化目標特性110を与える(1)式の関係性を伝達特性図によって表している。図20において、上段は(1)式右辺

の  $R(f) \times G(f)$  を表わしており、この内、 $G(f)$  は再生系の畳み込み操作で、第2実施形態にあっては低周波帯域を減衰する畳み込み操作を  $(2-D)$  としており、第1実施形態の破線で示す  $(1-D)$  に比べ低周波帯域の利得が大きくなっている。そして、この  $G(f)$  をナイキスト等化器のコサインロール  
5 オフ特性  $R(f)$  と乗算することで第2実施形態の図19に示した中段の等化目標特性110が得られている。この等化目標特性110は下段に示す(2)式左辺の磁気再生系の伝達特性  $H(f)$  とイコライザ伝達特性  $Q(f)$  の積に等しい。このためイコライザ伝達特性  $Q(f)$  は  $R(f) \cdot G(f)$  で与えられる等化目標特性110を磁気再生系伝達特性  $H(f)$  で割った(2)式の特性となるように調整すればよい。ここで第2実施形態で使用する図9のVFO回路88は、  
10 イコライザ82を  $(1+D)$  フィルタと  $(2-D)$  フィルタの部分に分け、 $(1+D)$  フィルタの出力をVFO回路88に入力することにより、従来技術で実現することができる。

次に第2実施形態の最尤検出回路は、基本的には図14に示した第1実施形態  
15 と同じ構成であるが、「2, -1, -2, 1」の畳み込み符号をビタビアルゴリズムにより時系列的に検出するように動作する。図21に第2実施形態の畳み込み符号の可能な組み合わせを表わすトレリス線図を示す。この場合も1ビットを4ビットに畳み込んでいるため、拘束長=4である。このようにして最尤検出された符号は、図14におけるポストコード104で演算されて検出データとなり  
20 、図9の第1実施形態と同様、最終的にデコーダ86で9/8変換されて復調データとなる。

図22(A)～(I)は、第2実施形態における記録再生の詳細を示したタイムチャートである。図22(A)のデータから図22(E)のヘッド出力までは基本的に第1実施形態の図15(A)～(E)と変わらないことから、説明を省  
25 略する。図22(F)のイコライザは、たとえば10タップのトランスバーサルFIRフィルタで構成され、サンプル点の電圧は「2, -1, -2, 1」の畳み込み符号の相互の重ね合わせから「+3, +2, +1, 0, -1, -2, -3」の7値となり、ナイキスト等化されたパーシャルレスポンス等化波形が図示のように出力される。図22(G)の最尤検出回路ではビタビアルゴリズムにより図

21に示すトレリス線図に従って最尤検出し、図22(H)の出力符号を出力する。最終的にデコーダで9/8変換し、図22(I)のデータを出力する。

図23は本発明の第3実施形態であり、この第3実施形態にあつては $(1-D) \cdot (3-2D) \cdot (1+D)^{-1}$ のPRML構成を対象とすることを特徴とする

- 5。第3実施形態は、NRZI記録系44から磁気再生系48までは図6の第1実施形態と基本的に同じである。イコライザ118の伝達特性 $Q(f)$ は(2)式で示されるものであるが、(2)式右辺の再生系における畳み込み操作 $G(f)$ が異なる。第3実施形態にあつて $G(f)$ は

$$G(f) = (3-2D) \cdot (1+D)^{-1}$$

- 10 となる。このため(4)式の $G(f)$ とナイキスト等化器のコサインロールオフ特性 $R(f)$ の積で与えられる第3実施形態の等化目標特性は、図24の特性122のようになる。ここで破線の特性56はナイキスト等化器のコサインロールオフ特性 $R(f)$ である。ここで第3実施形態の再生系における畳み込み操作は、一般形となる $(k-s \cdot D) \cdot (1+D)^n$ において、 $k=3$ ,  $s=2$ ,  $n=$   
15 1とした場合である。

- 図24のような等化目標特性を持つイコライザ118の出力には、図25に示すインパルス応答波形124が得られる。このインパルス応答波形124は、時間0で+3、時間+1Tで+1、時間2Tで-2、その他の時間 $\pm nT$ ( $n$ は整数)で0となるパーシャルレスポンス等化波形が得られる。ここで破線は負の  
20 インパルスに対するパーシャルレスポンス等化波形126である。また説明の便宜上、ノイズのない波形を示しているが、実際にはノイズが重畳した波形となり、この値を中心に変動する。

- 第3実施形態の最尤検出回路120はノイズの重畳したパーシャルレスポンス等化波形からビタビアルゴリズムにより畳み込み符号を検出する。第3実施形態  
25 では記録系の $(1-D)$ の畳み込みと再生系の $(3-2D) \cdot (1+D)^{-1}$ の畳み込みがなされているため、

$$\begin{aligned} & (1-D) \cdot (3-2D) \cdot (1+D) \\ & = 3-2D-3D^2+2D^3 \end{aligned}$$

と展開できる。このため入力符号「1」に対し「3, -2, -3, 2」の畳み込

み符号を検出し、出力符号を出力する。

- この図 2 3 の基本構成を持つ第 3 実施形態を図 2 のハードディスクドライブにおけるリードチャネル 3 0 に適用した場合のブロック図は、図 9 の第 1 実施形態と同じになる。即ち、図 9 における記録系から再生系のサンプル回路 8 0 までは
- 5 基本的に第 1 実施形態と同じである。次の第 3 実施形態のイコライザ回路 8 2 の伝達特性  $Q(f)$  は、ローパスフィルタ 7 8 の伝達特性を含め、概略的に図 2 6 の特性 1 2 8 に示すものとなる。ここで破線の特性 9 2 は図 1 1 の第 1 実施形態を示し、破線の特性 1 1 6 は図 1 9 の第 2 実施形態の特性を示している。このため第 3 実施形態におけるイコライザ伝達特性  $Q(f)$  を与える特性 1 2 8 は、第
- 10 1 実施形態の特性 9 2 と第 2 実施形態の特性 1 1 6 の中間の大きさとなっている。ここで、図 9 における第 3 実施形態の VFO 回路 8 8 は、イコライザ 8 2 を  $(1+D)$  フィルタと  $(3-2D)$  フィルタの部分に分け、 $(1+D)$  フィルタの出力を VFO 回路 8 8 に入力することにより、従来技術で実現することができる。
- 15 図 2 7 は、図 2 4 の第 3 実施形態の等化目標特性 1 2 2 を与える (1) 式の関係を、それぞれの伝達特性図によって表わしている。図 2 7 において、再生系の畳み込み操作に対応した  $G(f)$  は  $(3-2D)$  と  $(1+D)$  の積で与えられ、 $(3-2D)$  は破線で示す第 1 実施形態の  $(1-D)$  と第 2 実施形態の  $(2-D)$  の中間の値をとっている。そして、この  $G(f)$  をナイキスト等化器のコサイン
- 20 ンロールオフ特性  $R(f)$  との積を求めることで、第 3 実施形態の等化目標特性 1 2 2 が得られる。この等化目標特性 1 2 2 は下段に示す記録再生系の伝達特性  $H(f)$  とイコライザ伝達特性  $Q(f)$  の積に等しいことから、等化目標特性 1 2 2 を記録再生系の伝達特性  $H(f)$  で割る (2) 式により、イコライザ伝達特性  $Q(f)$  を求めることができる。
- 25 図 9 における第 3 実施形態の最尤検出回路 8 4 は、基本的に図 1 4 の第 1 実施形態と同じ構成であるが、「3, -2, -3, 2」の畳み込み符号をビタビアルゴリズムにより時系列に検出するように動作する。図 2 8 は第 3 実施形態の畳み込み符号の可能な組合せをあらわすトレリス線図を示す。この場合、1 ビットを 4 ビットに畳み込んでいるため、拘束長 = 4 である。このようにして最尤検出さ

れたデータは、図14のポストコード104で演算されて検出データとなり、最終的に図9のデコーダ86で9/8変換されて復調データとなる。

図29(A)～(I)は第3実施形態における記録再生の詳細を示したタイムチャートである。図29(A)～(E)のデータからヘッド出力までは基本的に図15(A)～(E)の第1実施形態と同じになる。図29(F)のイコライザは例えば10タップのトランスバーサルFIRフィルタで構成され、サンプル点の電圧は「3, -2, -3, 2」の畳み込み符号の相互の重ね合せにより「+5, +3, +2, +1, 0, -1, -2, -3, -5」の9値となり、図29(F)に示すナイキスト等化されたパーシャルレスポンス等化波形が出力される。第3実施形態の最尤検出回路では、ビタビアルゴリズムにより図28に示すトレリス線図に従って図29(G)のような最尤検出が行われ、尤らしい実線で示すパスによる出力符号を図29(H)のように出力する。なお破線は消滅したパスである。最終的にデコーダで出力符号を9/8変換し、図29(I)のデータを出力する。このように第1実施形態、第2実施形態及び第3実施形態のいずれにあっても、再生系にノイズの低周波帯域を削減させるための $(k-s \cdot D)$ の畳み込み操作を含むことにより、イコライザの伝達特性の自由度が増え、媒体などのノイズ特性に適応したフィルタ特性とすることが可能となり、再生系の最適化が達成されてエラーレートの改善を図ることができる。

図30は本発明の第4実施形態の基本構成であり、この第4実施形態にあっては第3実施形態において更に再生系で $(1+D)$ の畳み込みを行う $(1-D) \cdot (3-2D) \cdot (1+D)^2$ のPRML構成としたことを特徴とする。

図30において、NRZI記録系44から磁気再生系48までは図6の第1実施形態と基本的に同じである。次のイコライザ130の伝達特性 $Q(f)$ は(2)式で示されるものであるが、その内、再生系の畳み込み操作による $G(f)$ が異なる。即ち第4実施形態の $G(f)$ は

$$G(f) = (3-2D) \cdot (1+D)^2 \quad (5)$$

で与えられる。このため(1)式右辺のナイキスト等化器のコサインロールオフ特性 $R(f)$ と(5)式の $G(f)$ との積で与えられる再生系の等化目標特性は図31の特性134のようになる。なお破線の特性56はナイキスト等化器のコ



サインロールオフ特性  $R(f)$  である。このような再生系の等化目標特性を実現するイコライザ 130 の出力には図 32 の実線で示すインパルス応答波形 136 が得られる。このインパルス応答波形 136 は、時間 0 で +3、時間  $1T$  で +4、時間  $2T$  で -1、時間  $3T$  で -2、その他の時間  $\pm nT$  ( $n$  は整数) で 0 となるパーシャルレスポンス等化波形となる。ここで破線の波形 138 は負のインパルスに対するパーシャルレスポンス等化波形である。また説明の便宜上、ノイズのない波形を示しているが、実際にはノイズの重畳した波形となり、この値を中心に変動する。

第 4 実施形態の最尤検出回路 132 は、ノイズの重畳したパーシャルレスポンス等化波形からビタビアルゴリズムにより畳み込み符号を検出する。第 4 実施形態では記録系の  $(1-D)$  の畳み込みと再生系の  $(3-2D) \cdot (1+D)^2$  の畳み込みがなされているので、

$$\begin{aligned} & (1-D) \cdot (3-2D) \cdot (1+D)^2 \\ & = 3+D-5D^2-D^3+2D^4 \end{aligned}$$

と展開できる。このため入力符号「1」に対し「3, 1, -5, -1, 2」の畳み込み符号を検出し、出力符号を出力する。次に図 30 の第 4 実施形態の基本構成を図 2 のハードディスクコントローラのリードチャネル 30 に適用した場合の具体的な構成を説明する。この第 4 実施形態をリードチャネルに適用した場合のブロック図は、図 9 の第 1 実施形態と基本的に同じになる。即ち、記録系から再生系のサンプル回路 80 までは基本的に第 1 実施形態と同じになり、イコライザ 82、最尤検出回路 84 が第 4 実施形態固有の構成となる。

第 4 実施形態のイコライザ回路 82 の伝達特性  $Q(f)$  は、前段のローパスフィルタ 78 の伝達特性を含め、概略的には図 33 の特性 140 に示すものとなる。ここで破線の特性 128 は図 26 の第 3 実施形態の特性 128 である。この第 3 実施形態のイコライザ伝達特性 128 に比べ、第 4 実施形態の特性 140 にあっては、再生系に更に  $(1+D)$  の畳み込み操作を加えたことで、高周波帯域の利得が減少し、同時に低周波帯域での利得が増加している。

図 34 は第 4 実施形態における再生系の等化目標特性を与える (1) 式の関係性を伝達特性図により表わしている。図 34 から明らかなように、再生系の畳み込

み操作を与える  $G(f)$  には、第3実施形態の  $(3-2D) \cdot (1+D)$  に加え更に  $(1+D)$  の畳み込みを加えており、これによって高周波帯域の利得を低減し、低周波帯域の利得を増大させている。この再生系の  $G(f)$  とナイキスト等化器のコサインロールオフ特性  $R(f)$  の積が、図33に示した第4実施形態の再生系における等化目標特性140となる。この状態で磁気再生系の伝達特性  $H(f)$  が分かれば、再生系の等化目標特性140は磁気再生系の伝達特性  $H(f)$  とイコライザ伝達特性  $Q(f)$  の積に等しいことから、(2)式よりイコライザ伝達特性  $Q(f)$  を求めることができる。ここで、図9における第4実施形態のVFO回路88は、イコライザ回路82を  $(1+D)$  フィルタと  $(1+D)$  )  $(3-2D)$  フィルタの部分に分け、 $(1+D)$  フィルタの出力をVFO回路88に入力することにより、従来技術で実現することができる。

次に第4実施形態の最尤検出回路84、原理的には図14の第1実施形態と同じ構成であるが、1ビットを5ビットに畳み込んでいるため、拘束長=5となり、第1～第3実施形態の拘束長=4より約2倍の回路量を必要とする。具体的には図14の最尤検出回路における二乗誤差検出回路94において、図35のトレリス線図の16種のノードに対する16種のノード累積二乗誤差が保持されている。累積二乗誤差計算回路96では16種のノード累積二乗誤差と32種の二乗誤差をそれぞれ加算し、新たな32種の分岐累積二乗誤差を計算する。比較選択回路98は図35のトレリス線図の右側の各ノードにおいて、2種の矢印で示される分岐累積二乗誤差を比較し、小さい方のデータを確からしいとして、そのデータと選択信号をパスメモリ102に出力する。同時に比較選択回路98は、選択されたデータに対応する分岐累積二乗誤差を新たなそのノードのノード累積二乗誤差として累積二乗誤差保持回路100に出力する。パスメモリ102は選択されたパスを記憶する多段のレジスタで構成され、比較選択回路98からの選択データを記憶するとともに、選択信号に従い各段のデータを図35のトレリス線図に示すようにコピーする。これによって各段で半数のパスが生き残り、また半数のパスが消滅する。これを繰り返すことにより、最も確からしいパスのみがパスメモリ102上に生き残り、最尤検出されることになる。このようにして第4実施形態の最尤検出回路は「3, 1, -5, -1, 2」の畳み込み符号を時系列

に検出するように動作する。最尤検出されたデータはポストコード104で演算されて検出データとなり、最終的に図9に示す第4実施形態のデコーダ86で9/8変換されて復調データとなる。

図36は第4実施形態の記録再生の詳細を示したタイムチャートである。図36 (A) ~ (E) のデータからヘッド出力までは図15 (A) ~ (E) の第1実施形態と同じである。図36 (F) のイコライザの出力波形は、例えばイコライザを10タップのトランスバーサルFIREフィルタで構成し、この場合のサンプル点電圧は「3, 1, -5, -1, 2」の畳み込み符号の相互のずれによる重ね合わせで「+5, +4, +3, +2, +1, 0, -1, -2, -3, -4, -5」の11値となり、ナイキスト等化された図示のパーシャルレスポンス等化波形が出力される。図36 (G) の最尤検出回路では、ビタビアルゴリズムにより図35に示すトレリス線図に従って最尤検出することで、実線で示すパスが残り、図36 (H) の出力符号を出力する。最終的に、この出力符号を9/8変換することで、図36 (I) のデータを復調する。

なお上記の実施形態は再生系における畳み込み操作の一般系である  $(k - s \cdot D) \cdot (1 + D)^n$  において、

$k = 1, s = 1, n = 1$  とした第1実施形態、

$k = 1, s = 2, n = 1$  とした第2実施形態、

$k = 3, s = 2, n = 1$  とした第3実施形態、更に

20  $k = 3, s = 2, n = 2$  とした第4実施形態

を例にとるものであったが、本発明はこれに限定されず、媒体とヘッドの周波数特性で定まる磁気再生系の伝達特性  $H(f)$  に対し、 $k, s, n$  を最適化することにより媒体ノイズなどの特性に合った最適なフィルタ特性を任意に設定することができる。

25 また上記の実施形態にあつては、記録系で  $(1 - D)$  の畳み込みを行うNRZI回路を設けた場合を例にとるものであったが、 $(1 - D)$  の畳み込みを含まない他の記録系についても適用可能である。

また上記の実施形態にあつては、直流成分が問題になる場合にはスクランブル回路をエンコーダの前に設け、データをランダム化し、再生時にはデコーダの後

ろにデスクランブル回路を設けて元のデータに戻しても良い。

また上記の実施形態において、VFO回路はフィルタ出力より入力しているが、イコライザ出力より入力する構成としても良い。

また上記の実施形態では最尤検出回路で二乗誤差をとる場合を説明したが、絶対値を取り、1を含む定数をかけるようにしても同様に構成できる。

また再生系のサンプル回路以降はアナログ回路で構成しても良いし、量子化してデジタル回路で構成しても良い。

またヘッドは、ライトヘッドとリードヘッドを別々のヘッドで説明したが、同一のヘッドでも良い。更にRL符号として8/9RL符号を例に取るものであったが、16/17RL符号などの他の符号でも適用可能である。

また本発明は、その目的と利点を損なわない適宜の変形を含み、更に上記の実施形態に示した数値による限定は受けない。

#### 産業上の利用の可能性

以上説明してきたように本発明によれば、再生系に少なくとも $(k - s \cdot D)$ の畳み込み操作を含むことにより、媒体ノイズのように低周波帯域にパワーのピークがあるノイズを効果的に削減することができ、この低周波帯域のノイズの削減により、記録密度の向上、再生エラーレートの向上、更にはサイドストロークの削減による再生エラーレートの向上を図ることができる。

また再生系の $(k - s \cdot D)$ の畳み込み操作における整数 $k$ 、 $s$ を最適化することにより、イコライザの伝達特性の自由度が増え、媒体などのノイズ特性に適合したフィルタ特性を容易に実現することができ、この整数 $k$ 、 $s$ の最適化により効果的に低域ノイズを削減して記録密度を向上することができる。特に今後は1ビットの面積が磁性材料の粒子に近づくため、媒体ノイズが大きくなることになるが、本発明の再生系での $(k - s \cdot D)$ の畳み込み操作を含むことにより低域ノイズを効果的に削減でき、記録密度の向上に大きく寄与することができる。

## 請求の範囲

1. パーシャルレスポンスを利用して媒体に情報を記録した後に前記媒体から情報を再生する再生する信号処理方法において、
- 5 前記媒体からの再生信号に
- $$(k - s \cdot D)$$
- 但し、 $D$  : 1 ビット遅延演算子
- $$k, s : \text{正の整数で } k \neq s$$
- の畳み込み操作を含む等化処理を行うことを特徴とする信号処理方法。
- 10 2. 請求の範囲 1 の信号処理方法において、前記等化処理された信号から最尤検出により情報を復号することを特徴とする信号処理方法。
3. パーシャルレスポンスを利用して記録系により媒体に情報を記録し、再生系
- 15 により前記媒体から情報を再生する信号処理回路において、
- 前記再生系に、前記媒体からの再生信号に
- $$(k - s \cdot D)$$
- 但し、 $D$  : 1 ビット遅延演算子
- $$k, s : \text{正の整数で } k \neq s$$
- 20 の畳み込み操作を行う等化器を設けたことを特徴とする信号処理回路。
4. 請求の範囲 3 の信号処理回路において、前記等化器の出力信号から最尤検出により情報を復号する最尤検出器を設けたことを特徴とする信号処理回路。
- 25 5. パーシャルレスポンスを利用して記録系により媒体に情報を記録し、再生系により前記媒体から情報を再生する情報記録再生装置において、
- 前記再生系に、前記媒体からの再生信号に
- $$(k - s \cdot D)$$
- 但し、 $D$  : 1 ビット遅延演算子

$k, s$  : 正の整数で  $k \neq s$

の畳み込み操作を行う等化器を設けたことを特徴とする情報記録再生装置。

6. 請求の範囲 5 の情報記録再生装置において、前記等化器の出力信号から最尤  
5 検出により情報を復号する最尤検出器を設けたことを特徴とする情報記録再生装  
置。

7. パーシャルレスポンスを利用して媒体に情報を記録した後に前記媒体から情  
報を再生する信号処理方法において、

- 10 前記媒体に記録する記録信号に

$$(1 - D)$$

但し、 $D$  : 1 ビット遅延演算子

の畳み込み操作を行い、

前記媒体からの再生信号に

- 15  $(k - s \cdot D) \cdot (1 + D)^n$

但し、 $D$  : 1 ビット遅延演算子

$k, s$  : 正の整数

$n$  : 2 以外の正の整数

の畳み込み操作を含む等化処理を行うことを特徴とする信号処理方法。

20

8. 請求の範囲 1 の信号処理方法において、前記等化処理された信号から最尤検  
出により情報を復号することを特徴とする信号処理方法。

9. パーシャルレスポンスを利用して、記録系により媒体に情報を記録し、再生  
25 系により前記媒体から情報を再生する信号処理回路において、

前記記録系に、媒体に記録する記録信号に

$$(1 - D)$$

但し、 $D$  : 1 ビット遅延演算子

の畳み込み操作を行う回路部を設け、

前記再生系に、前記媒体からの出力信号に

$$(k - s \cdot D) \cdot (1 + D)^n$$

但し、 $D$  : 1ビット遅延演算子

$k, s$  : 正の整数

5  $n$  : 2以外の正の整数

の畳み込み操作を行う等化器を設けたことを特徴とする信号処理回路。

10 10. 請求の範囲9の信号処理回路において、前記等化器の出力信号から最尤検出により情報を復号する最尤検出器を設けたことを特徴とする信号処理回路。

11. パーシャルレスポンスを利用して、記録系により媒体に情報を記録し、再生系により前記媒体から情報を再生する情報記録再生装置において、

前記記録系に、媒体に記録する記録信号に

$$(1 - D)$$

15 但し、 $D$  : 1ビット遅延演算子

の畳み込み操作を行う回路部を設け、

前記再生系に、前記媒体からの再生信号に

$$(k - s \cdot D) \cdot (1 + D)^n$$

但し、 $D$  : 1ビット遅延演算子

20  $k, s$  : 正の整数

$n$  : 2以外の正の整数

の畳み込み操作を行う等化器を設けたことを特徴とする情報記録再生装置。

25 12. 請求の範囲11の情報法記録再生装置において、前記等化器の出力信号から最尤検出により情報を復号する最尤検出器を設けたことを特徴とする情報記録再生装置。

図 1

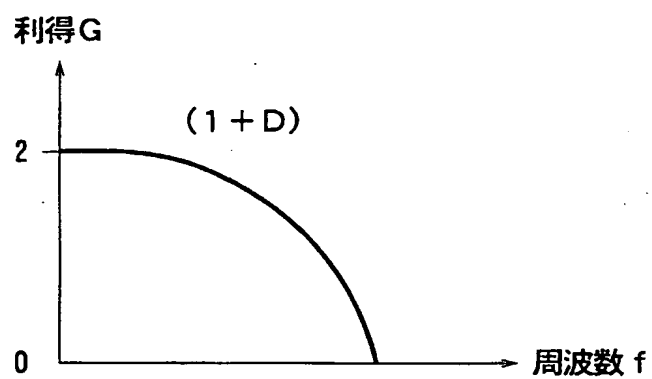


図 2

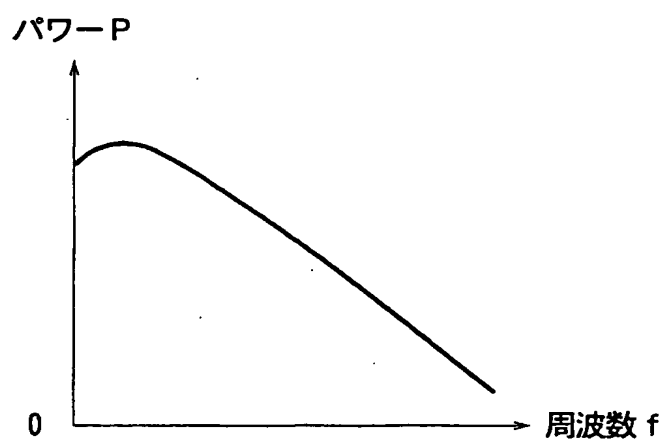




图 3

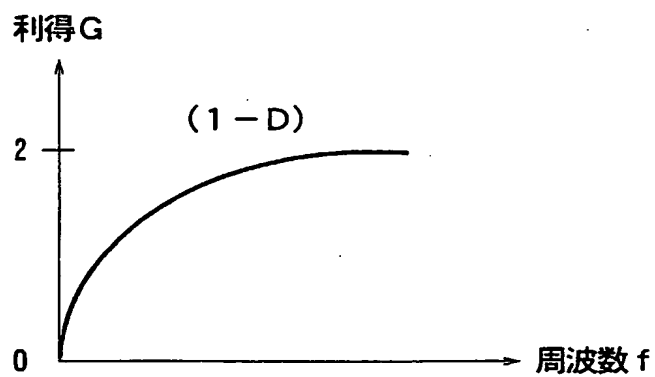


图 4

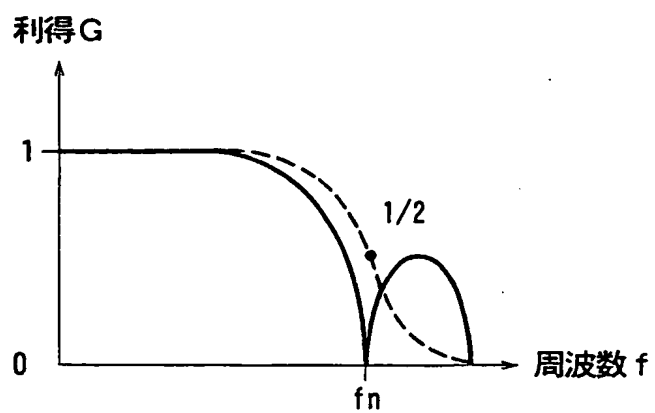


図5

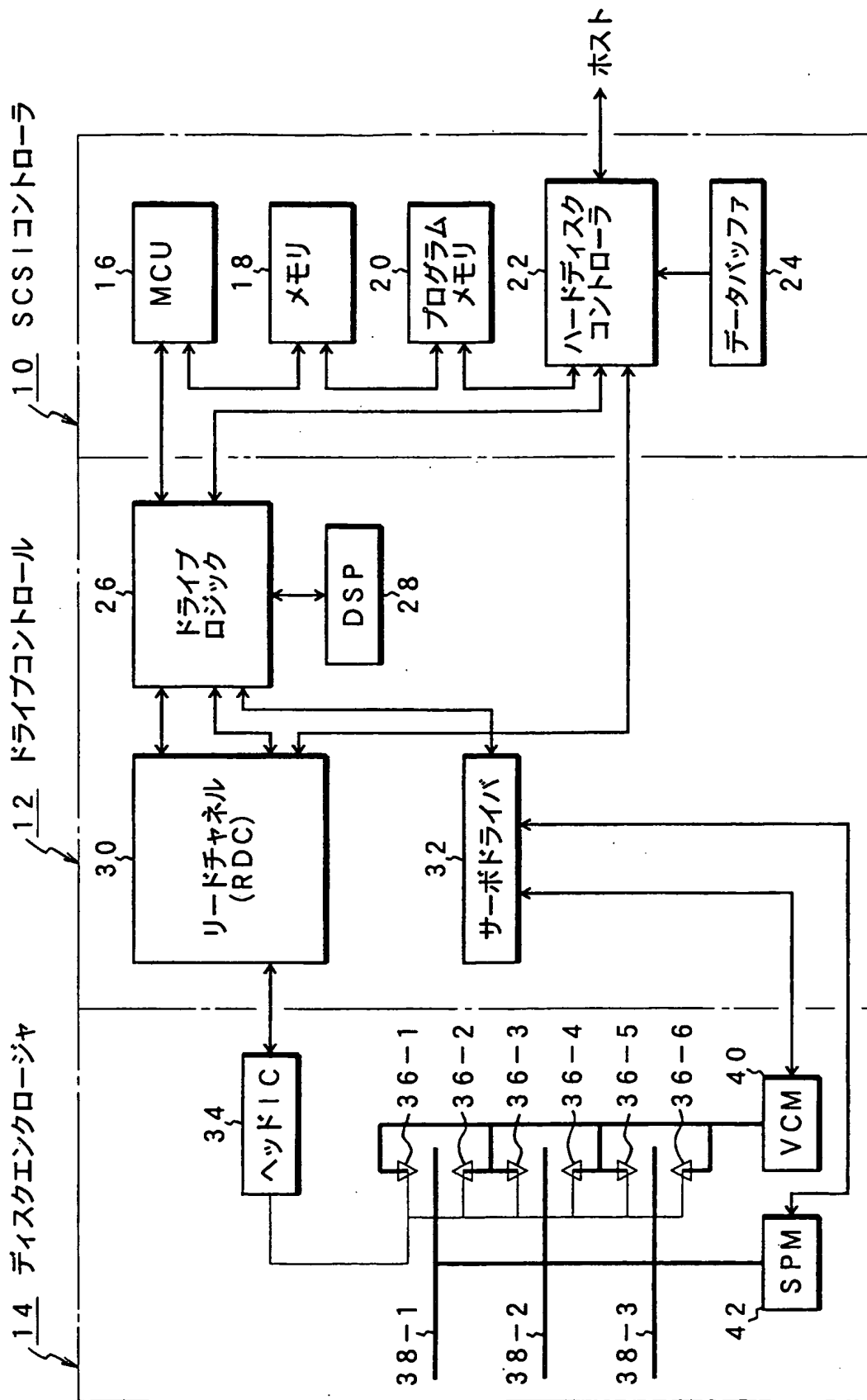
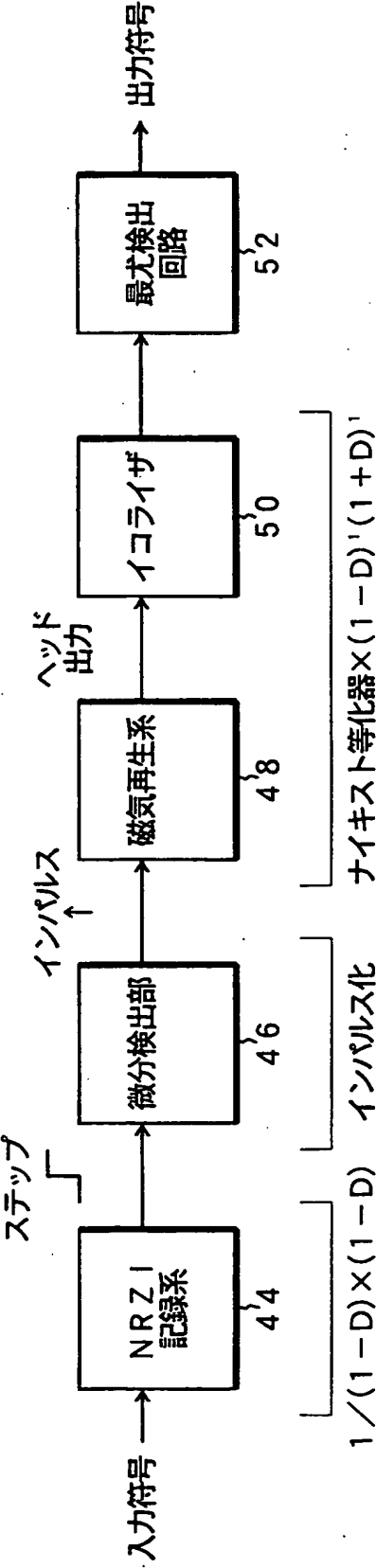


図6



5/29

図 7

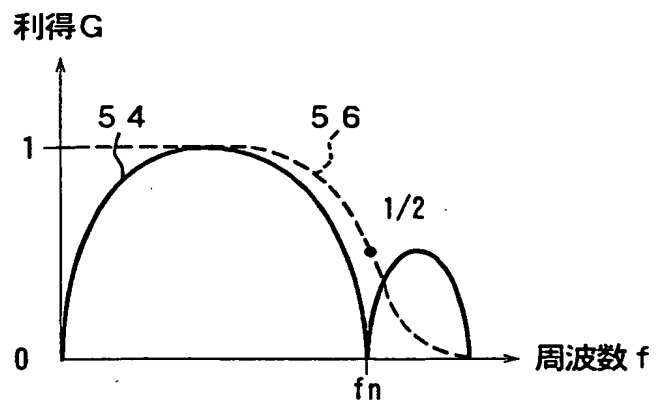
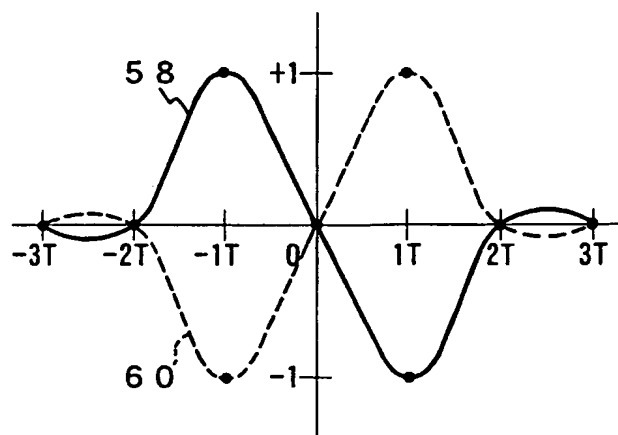
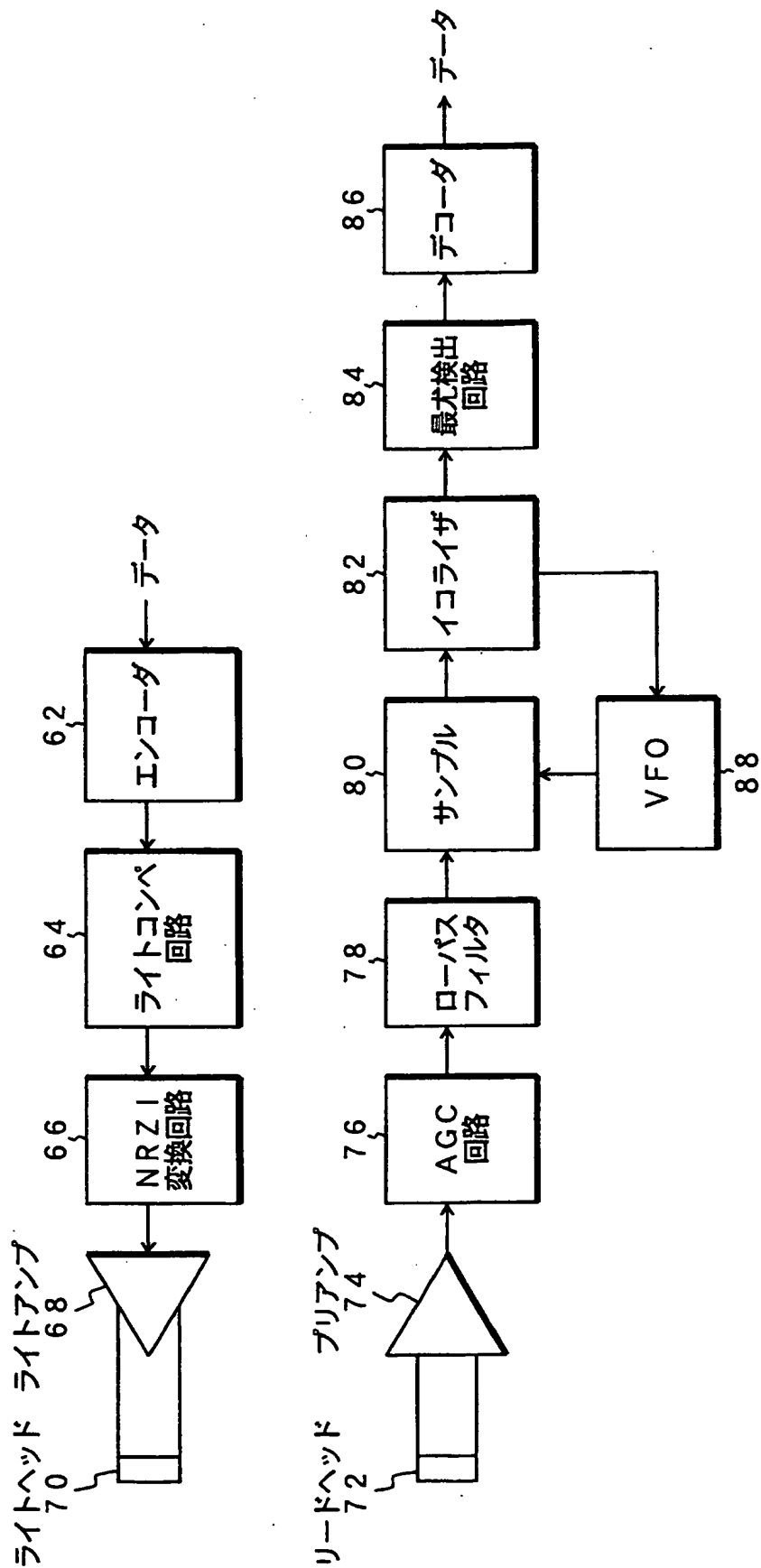


図 8



6/29

図9



7/29

図 1 0

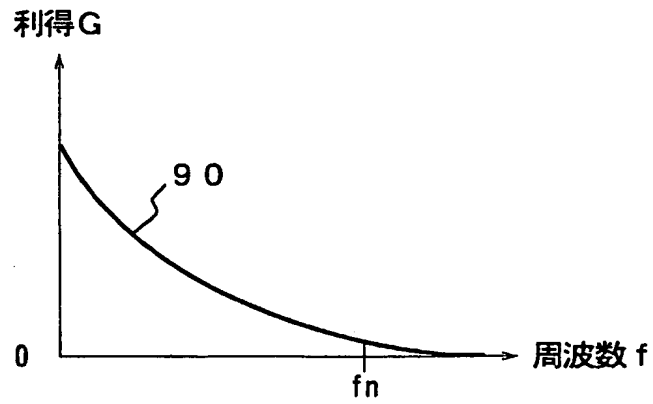


図 1 1

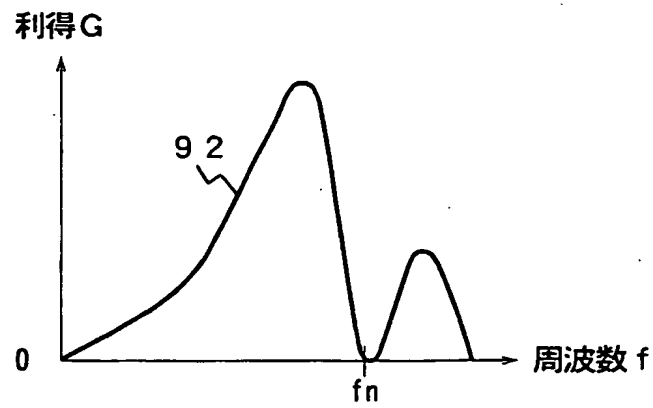
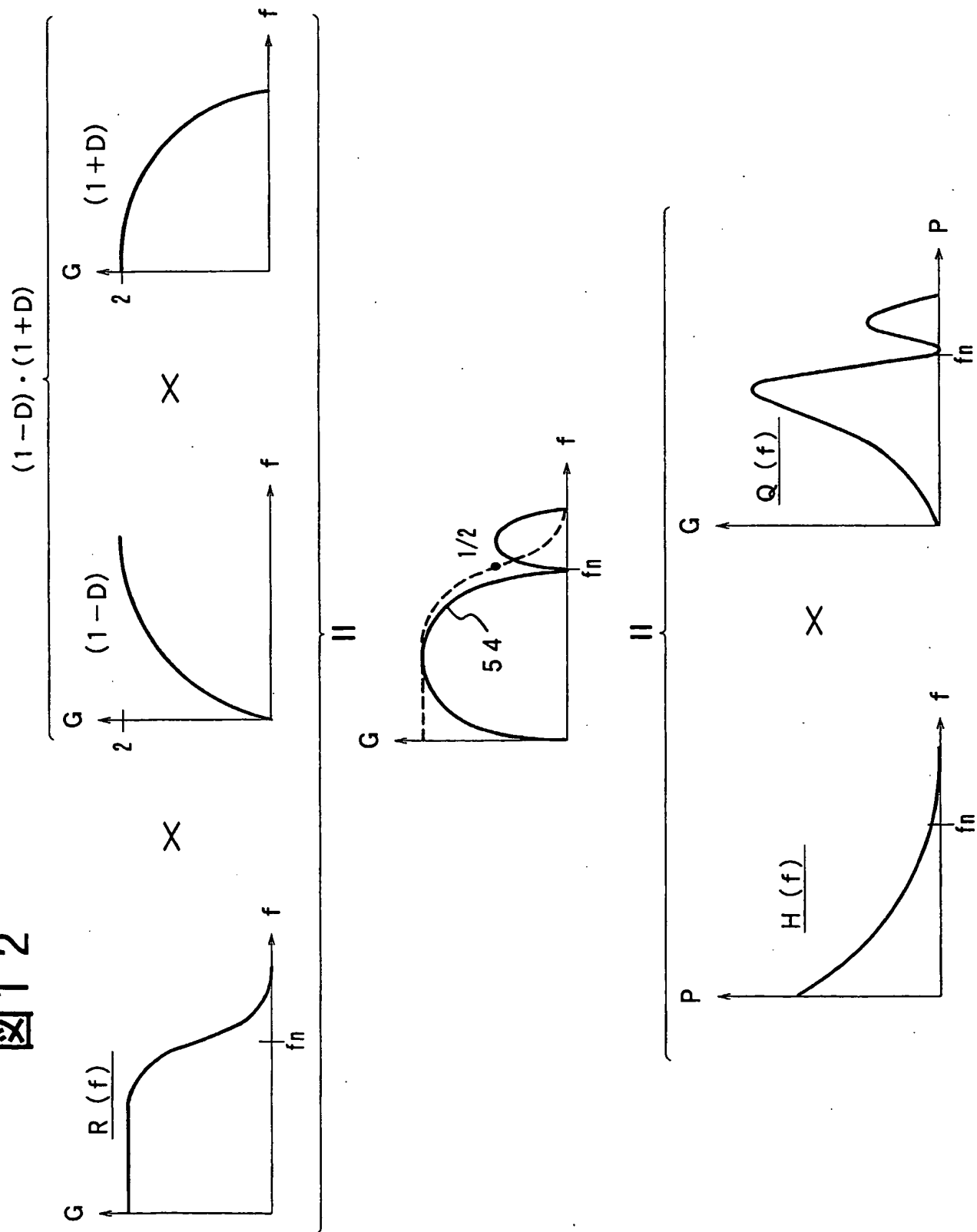
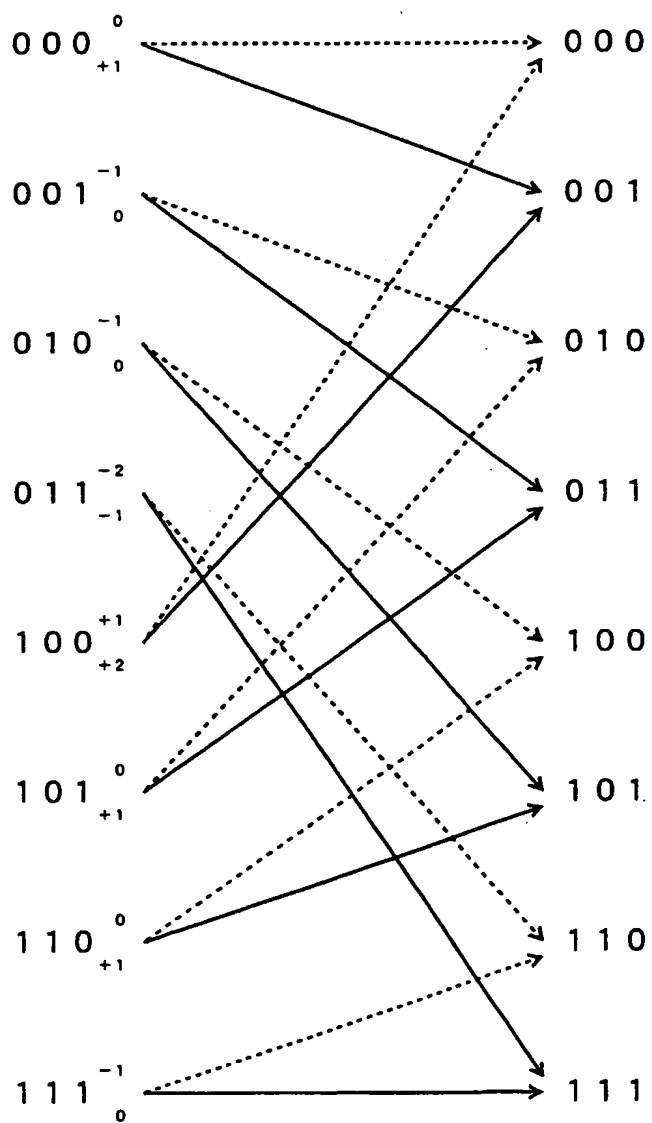


図12



9/29

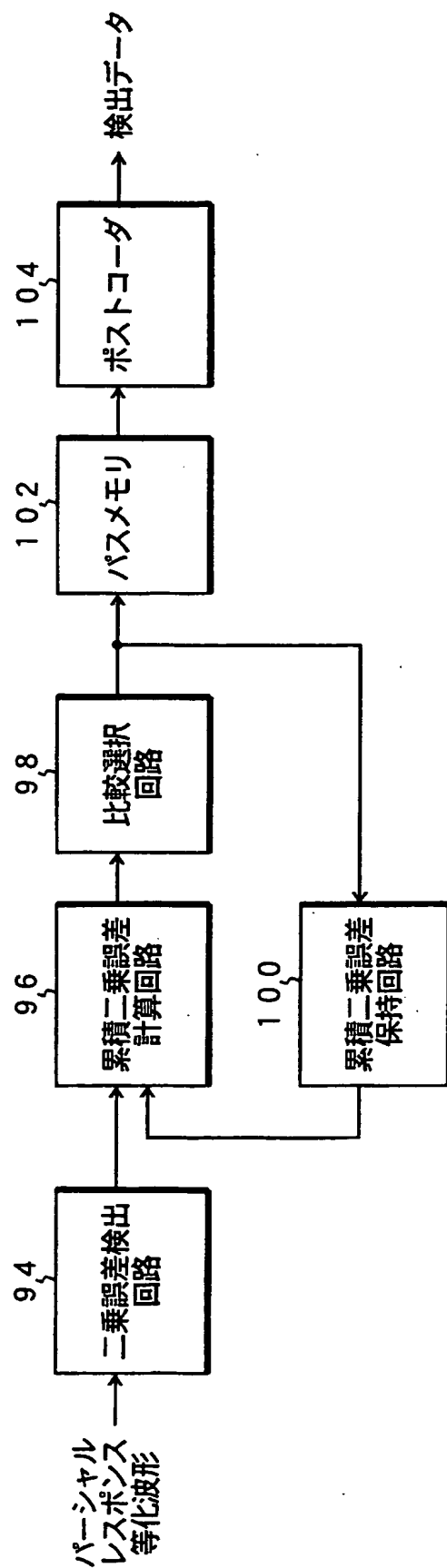
図 1 3





10/29

図14



11/29

図15

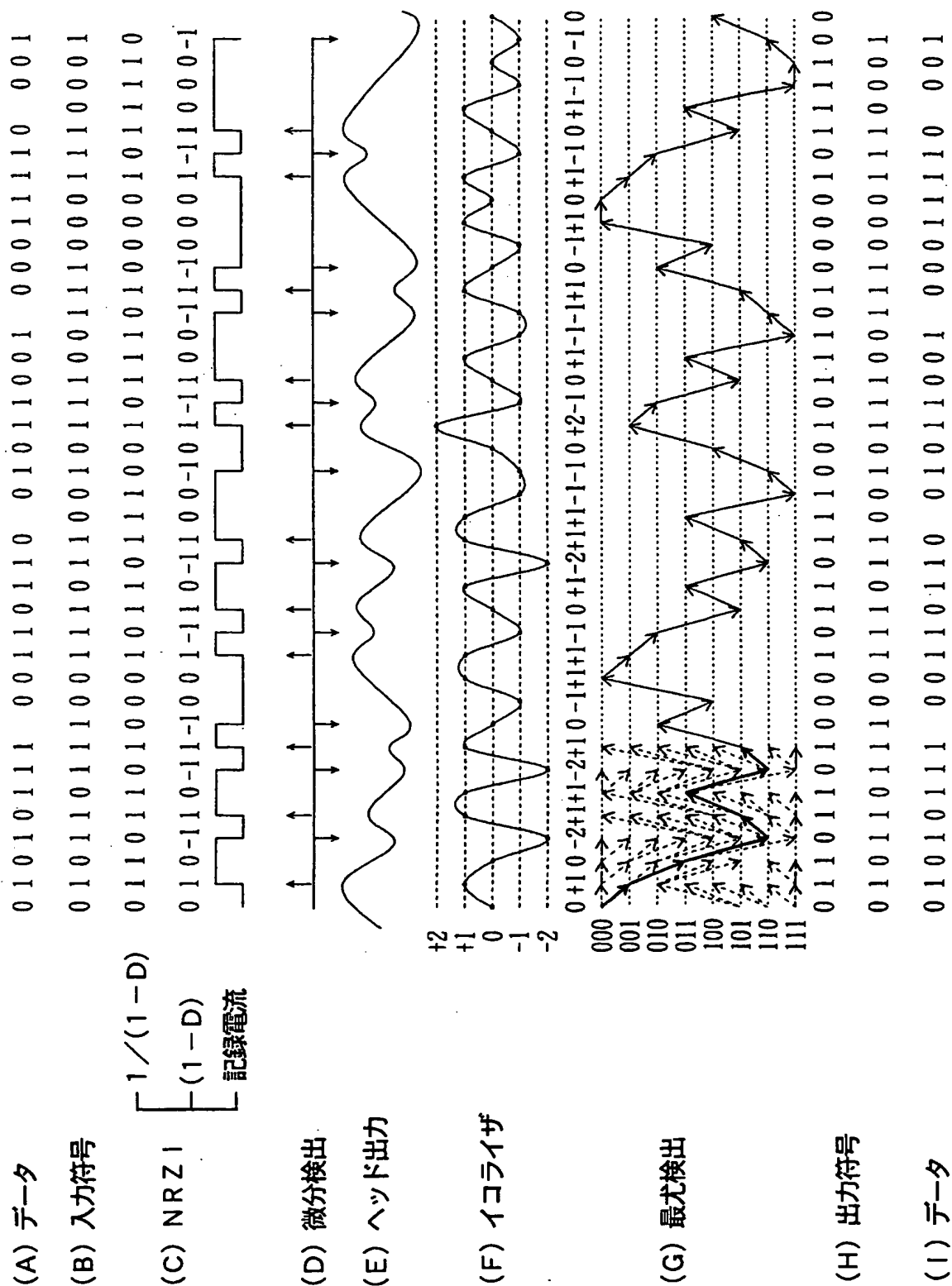


図16

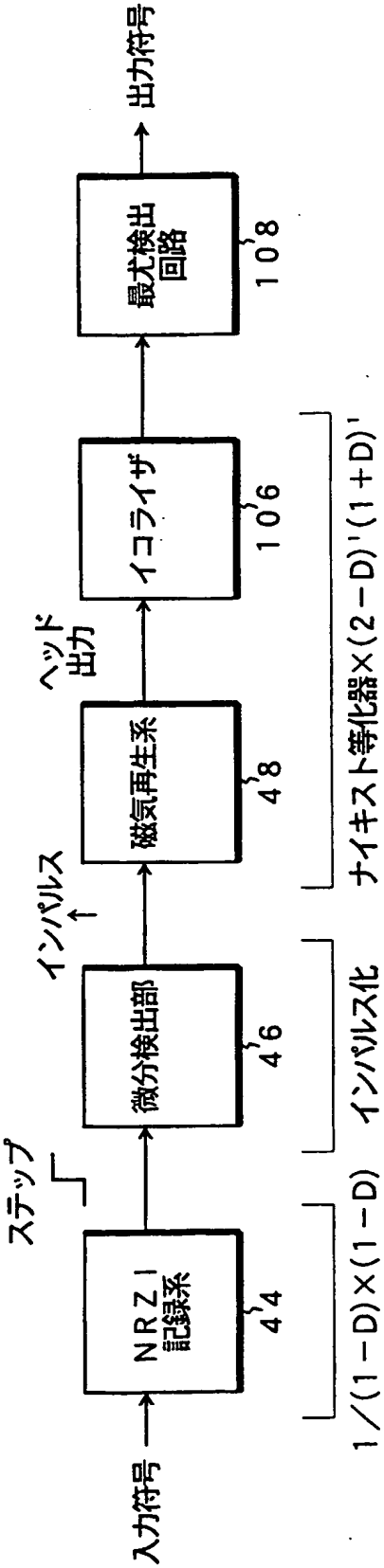


図 1 7

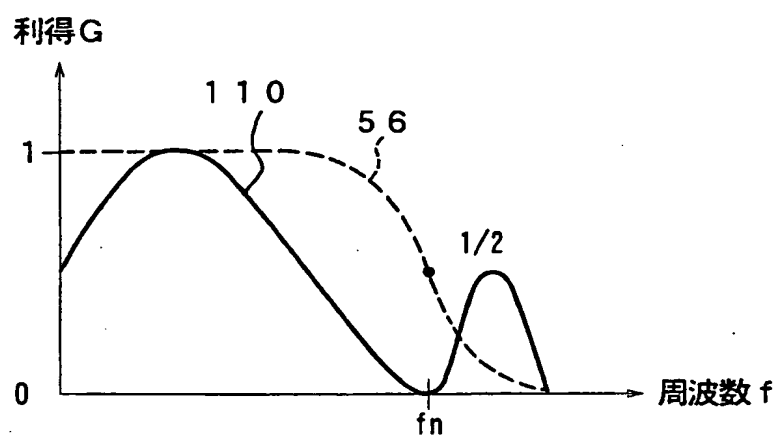


図 1 8

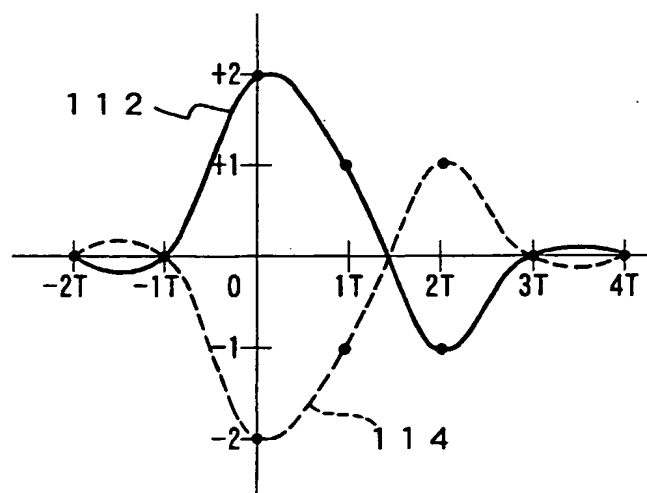


図 19

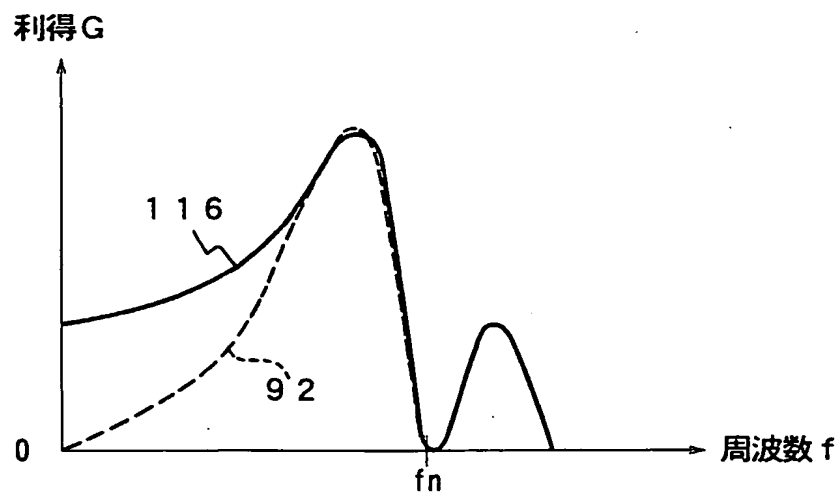


図 20

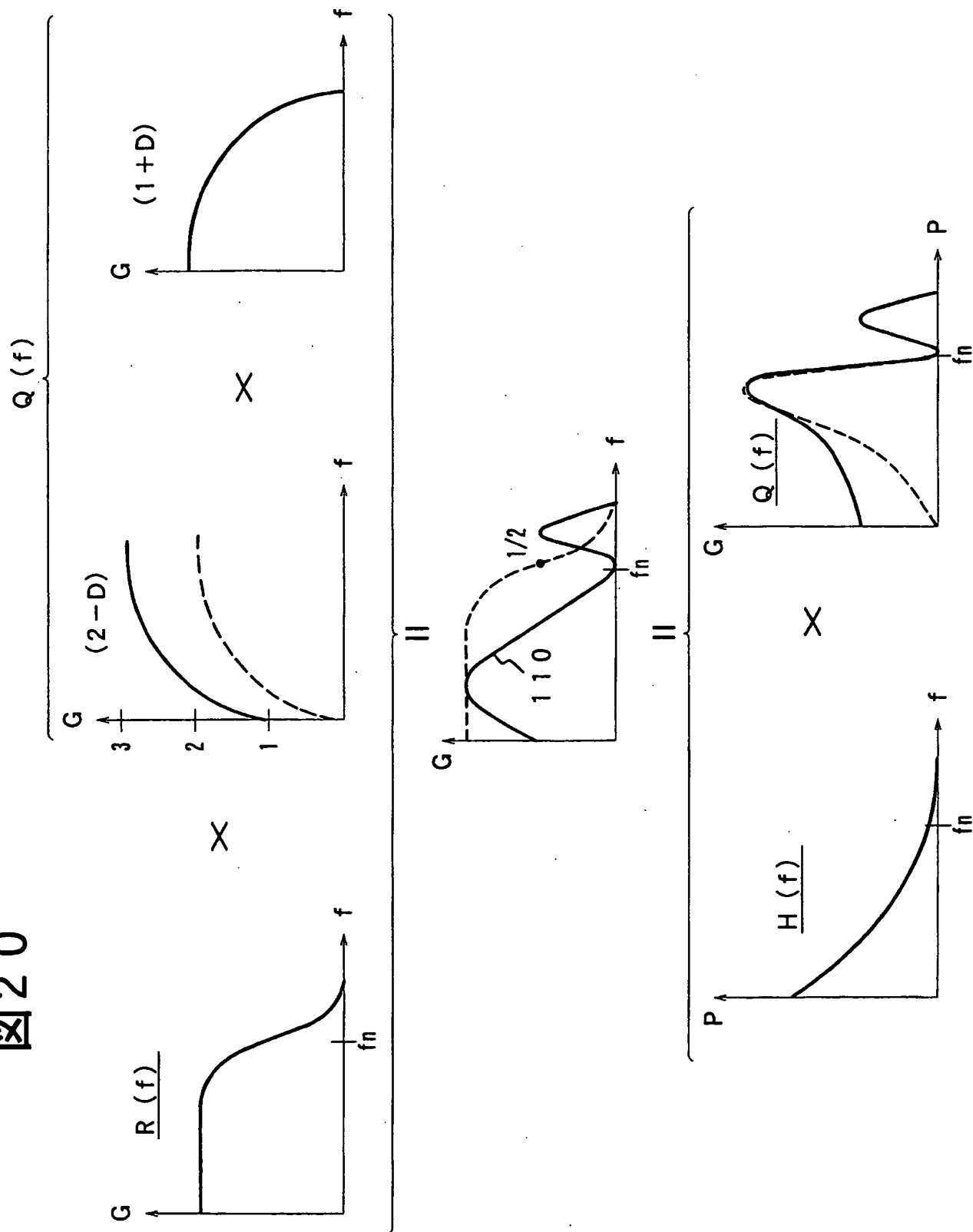
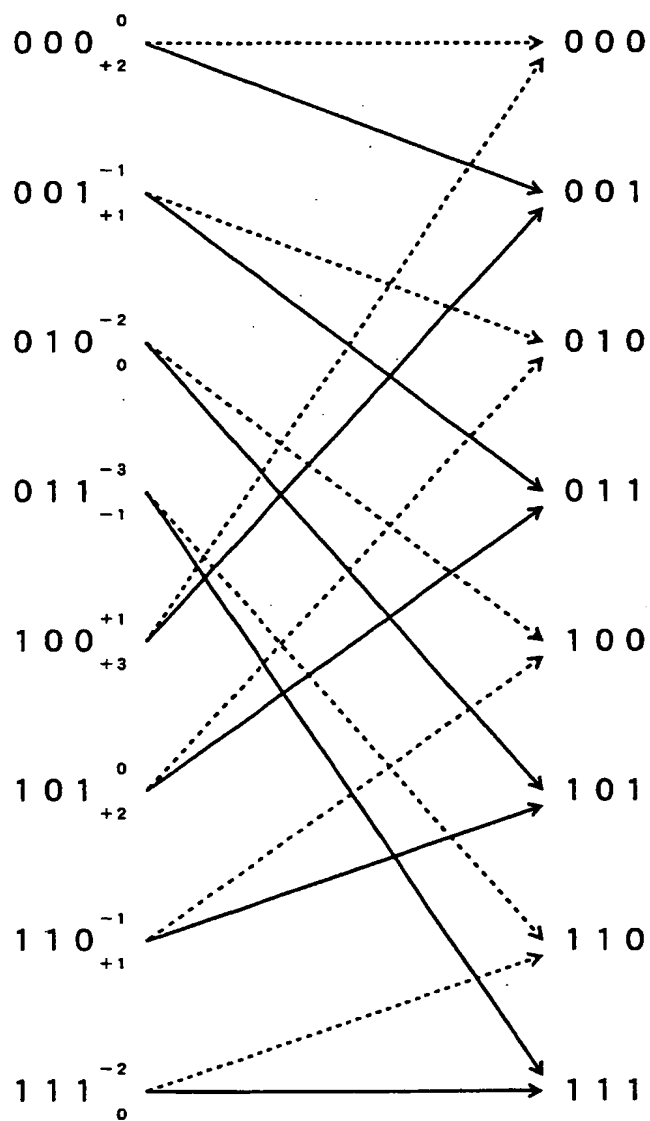


図 2 1



17/29

## 図 22

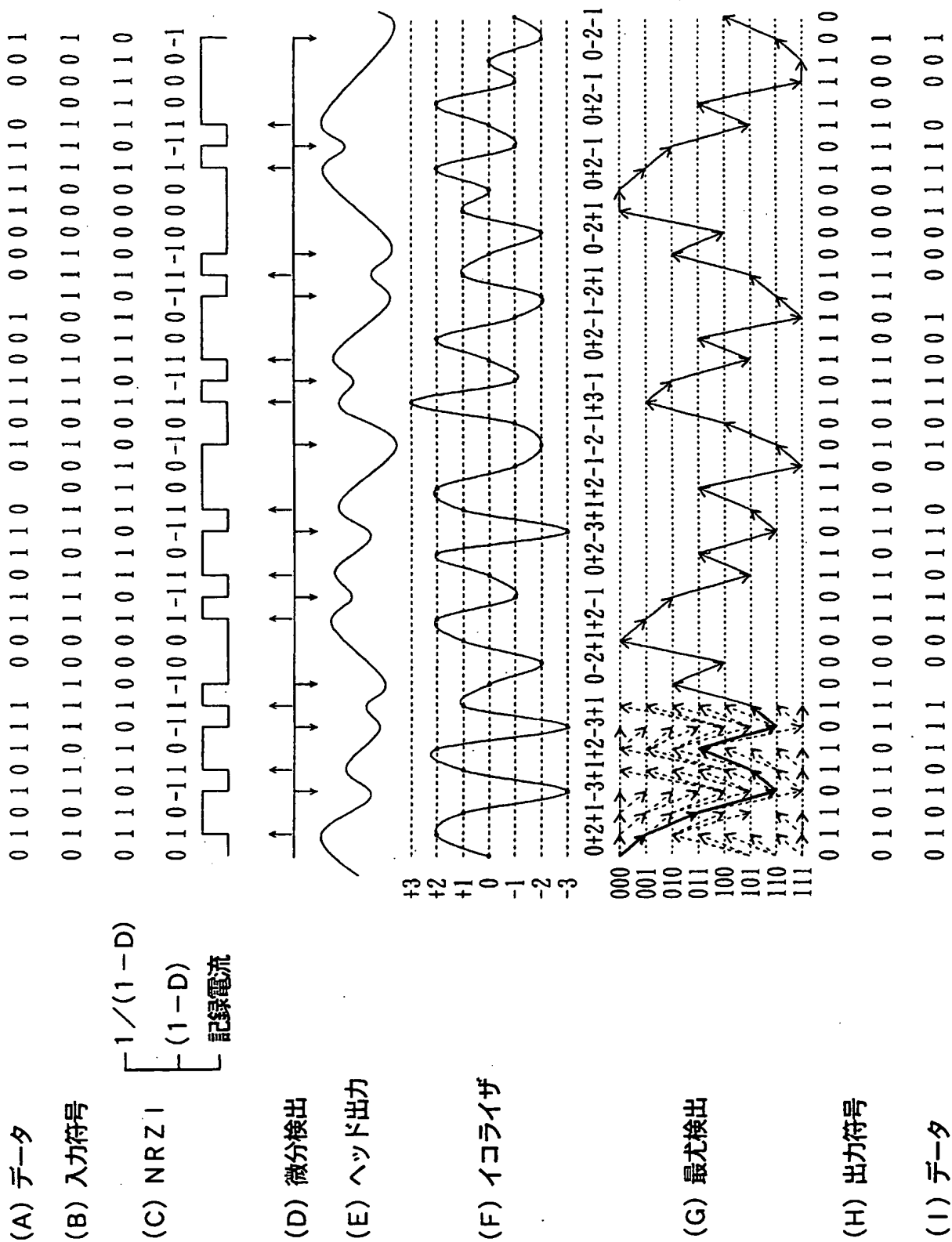




図 23

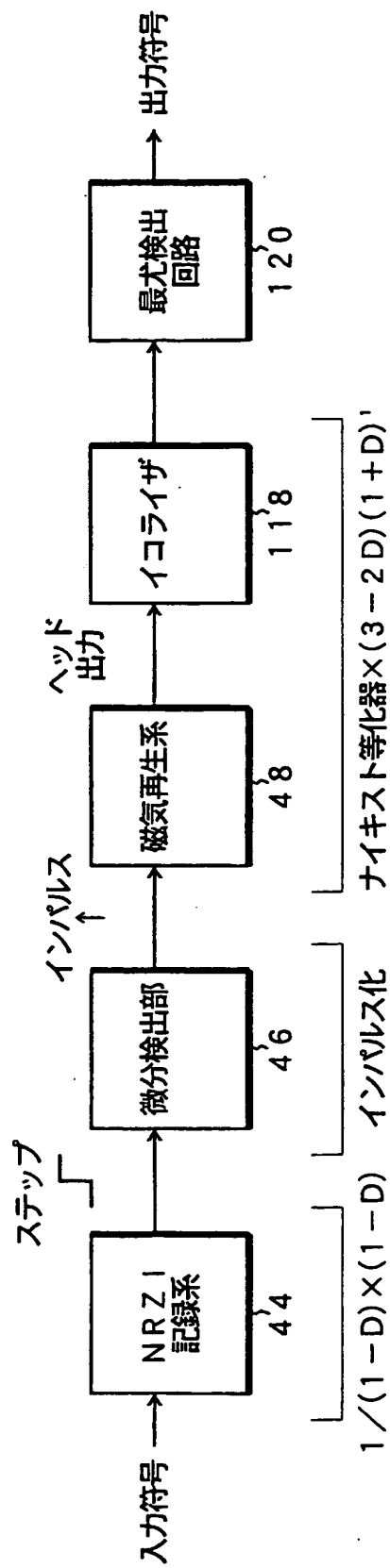


図 2 4

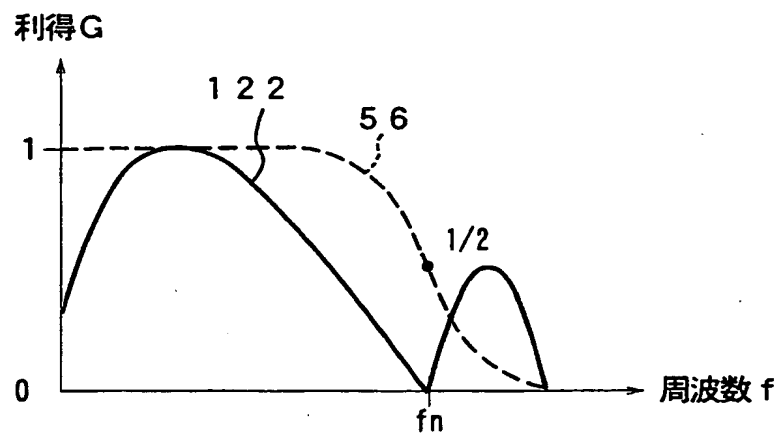


図 2 5

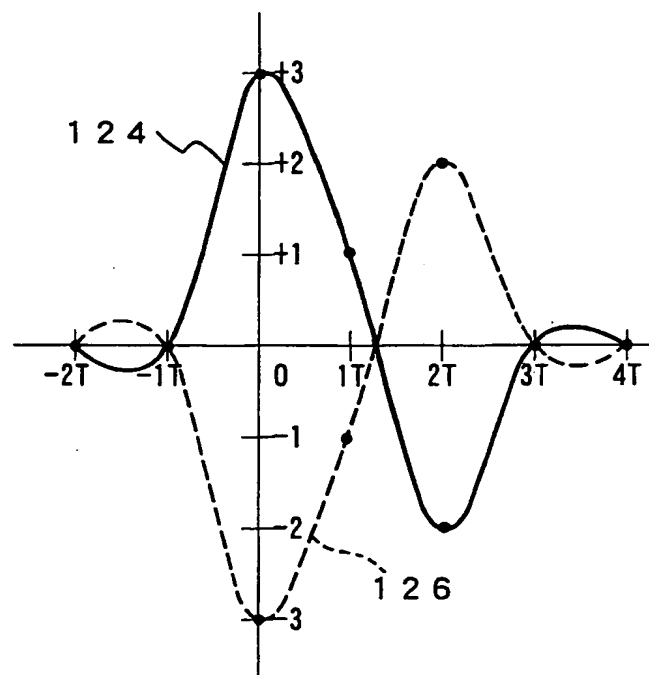


図 2 6

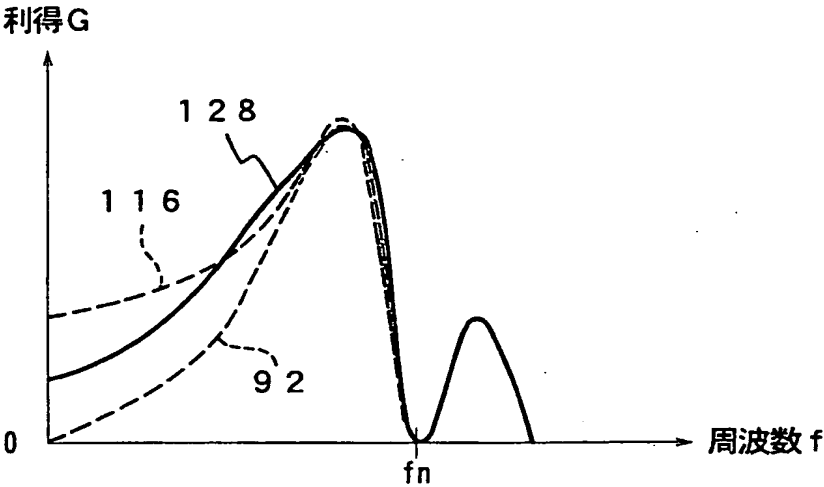
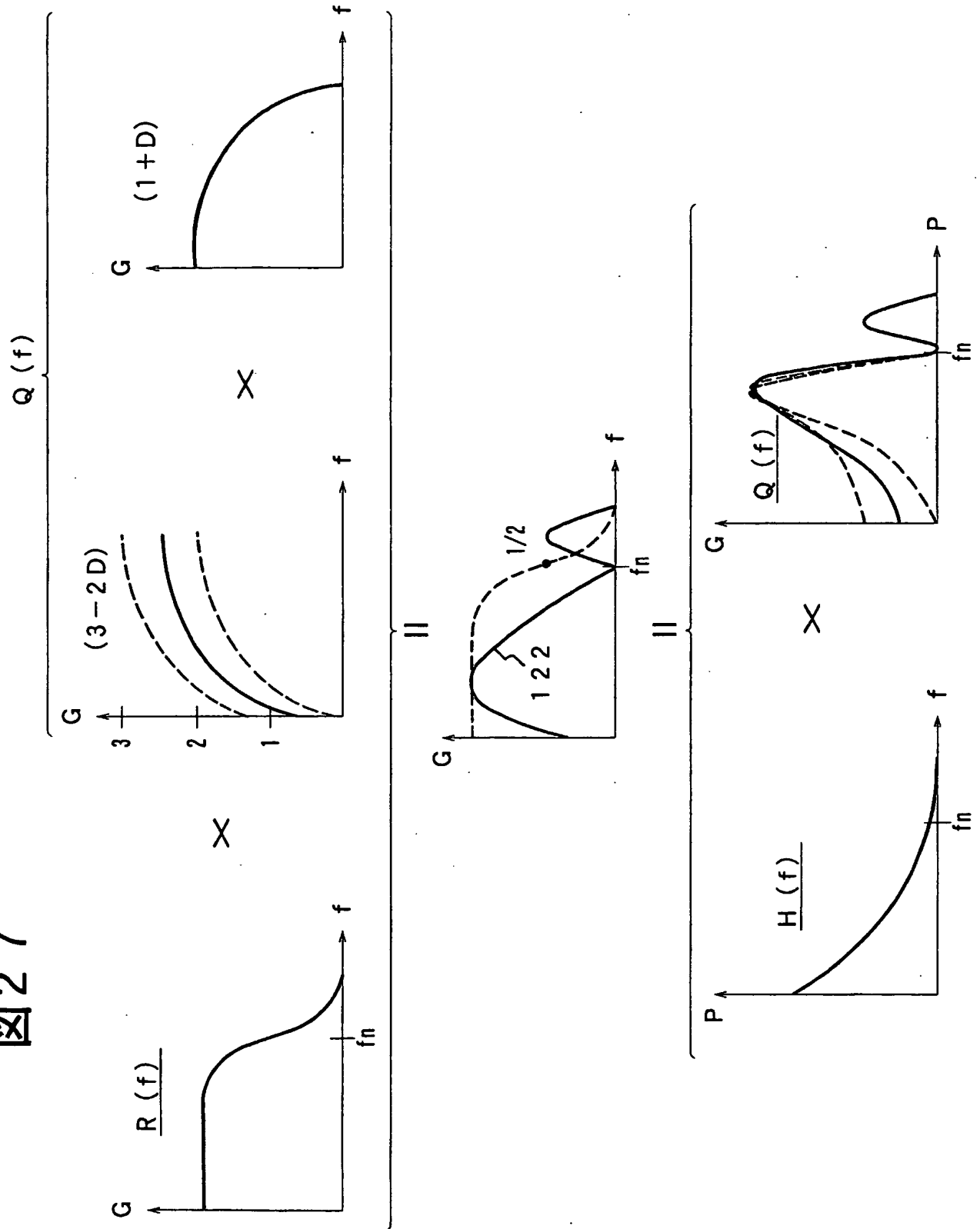


図 27



22/29

図 28

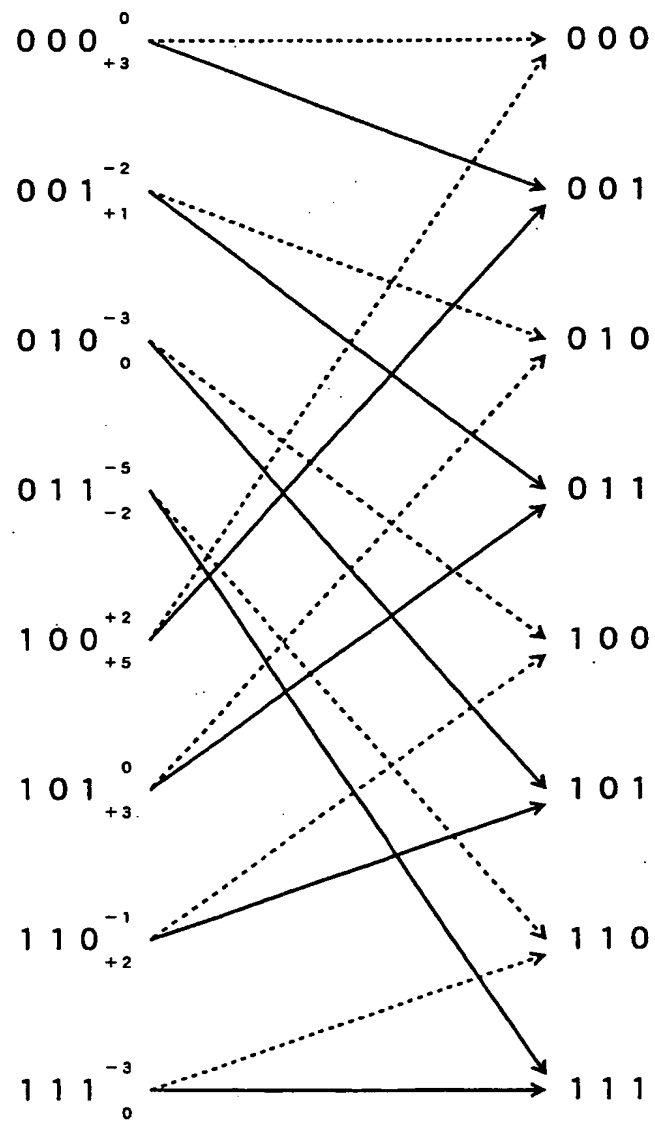
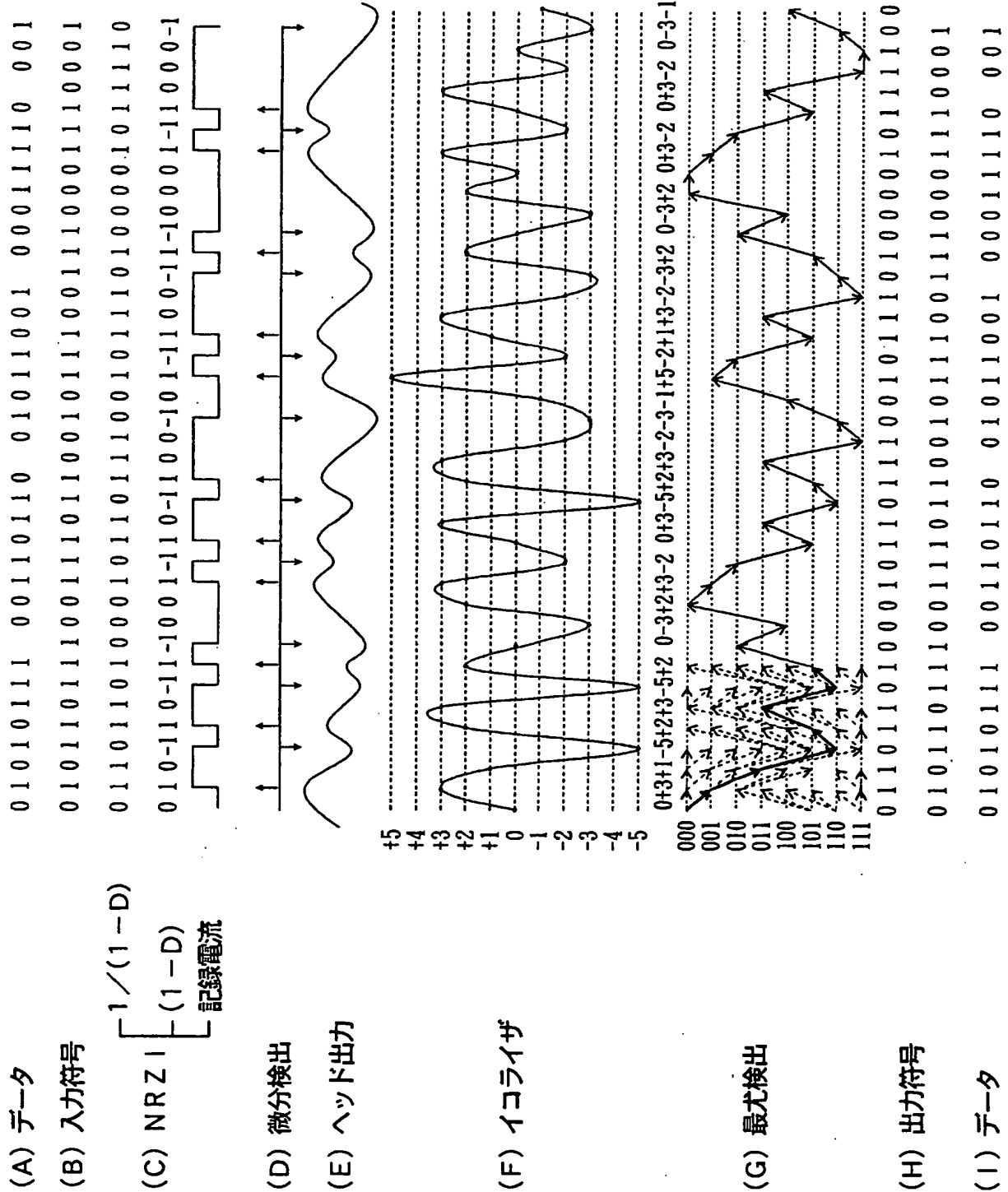
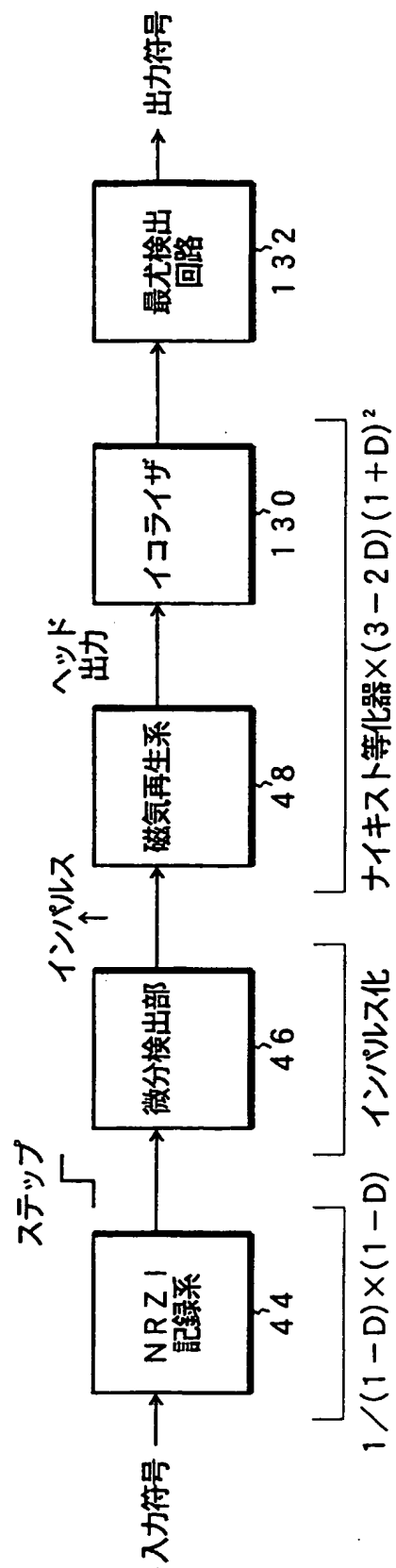


図 29



24/29

図 30



25/29

図 3 1

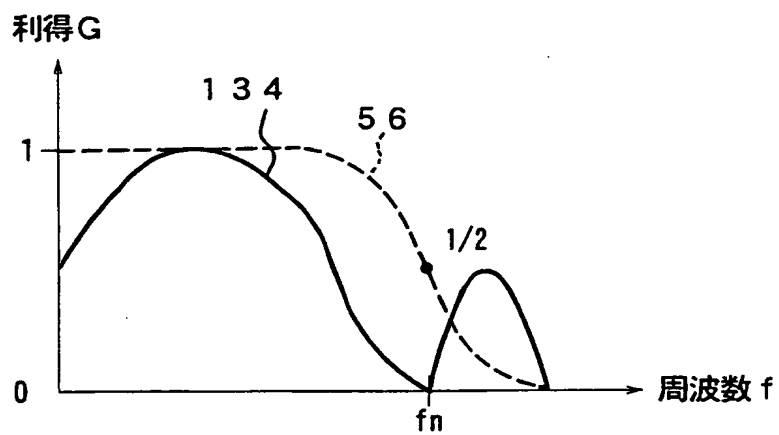


図 3 2

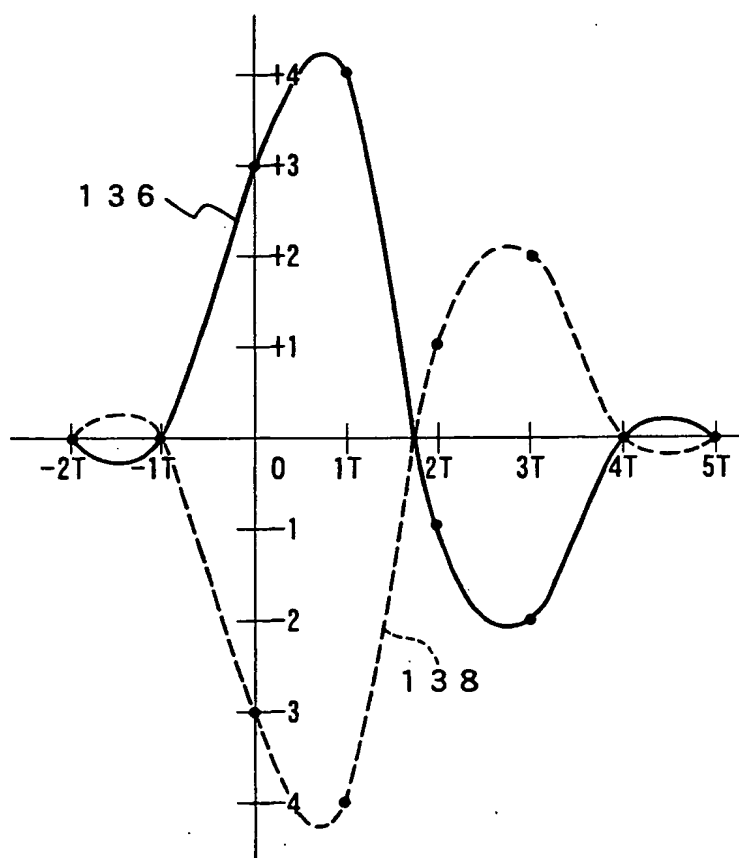




図 3 3

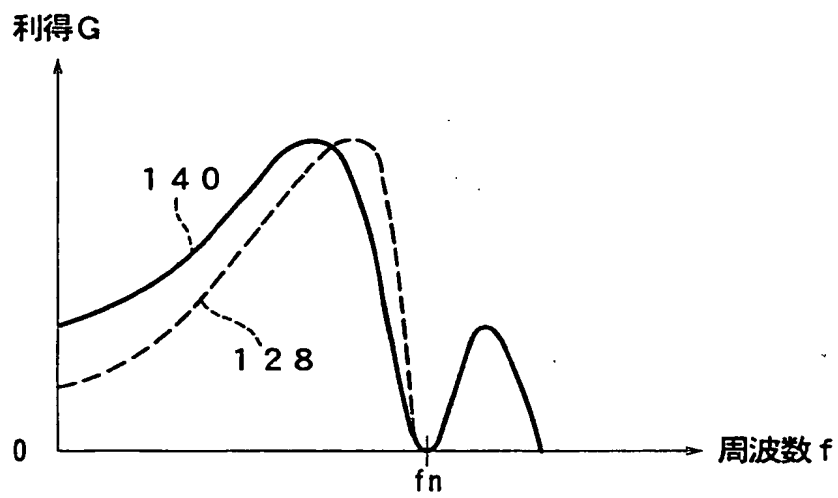
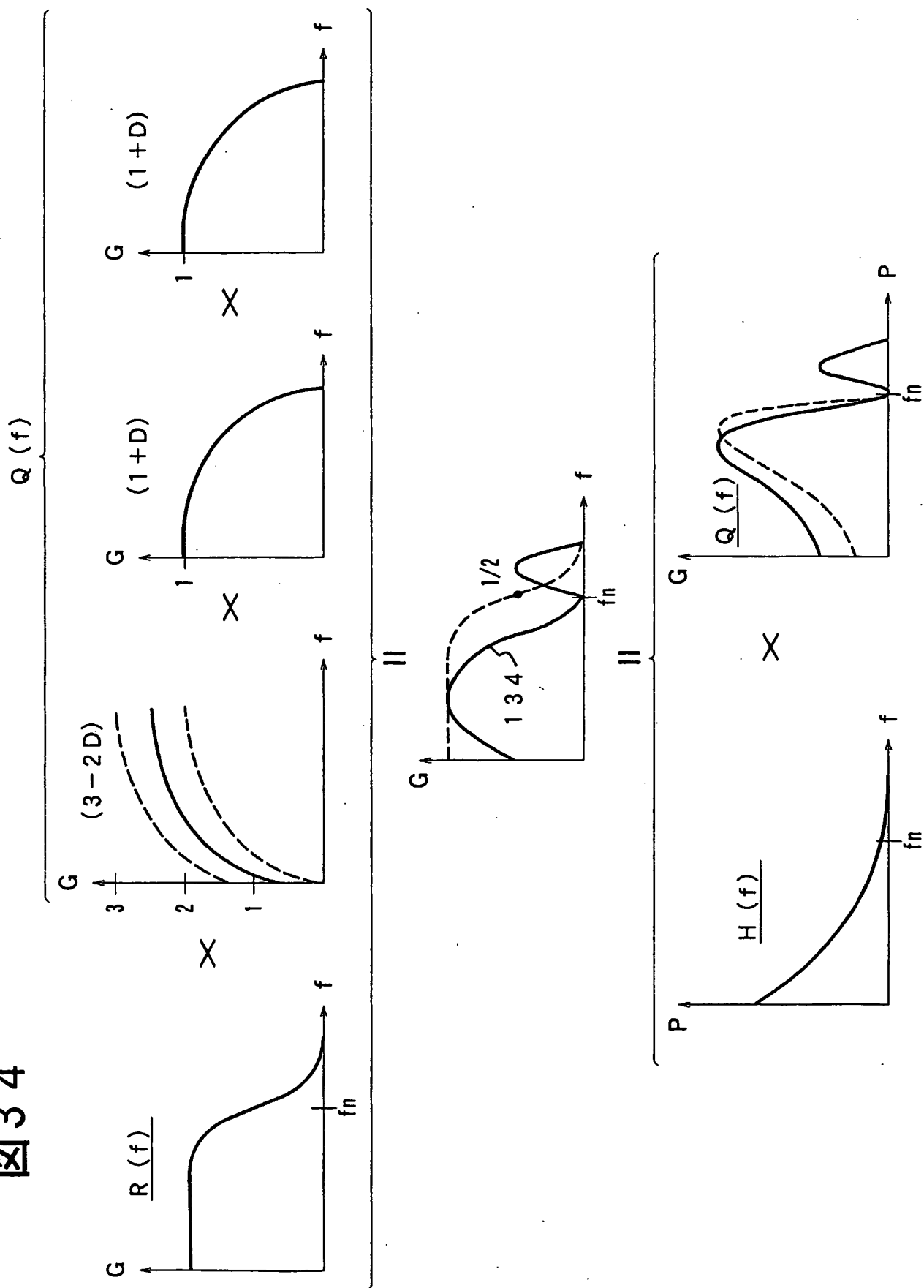


図 34



28/29

図 3 5

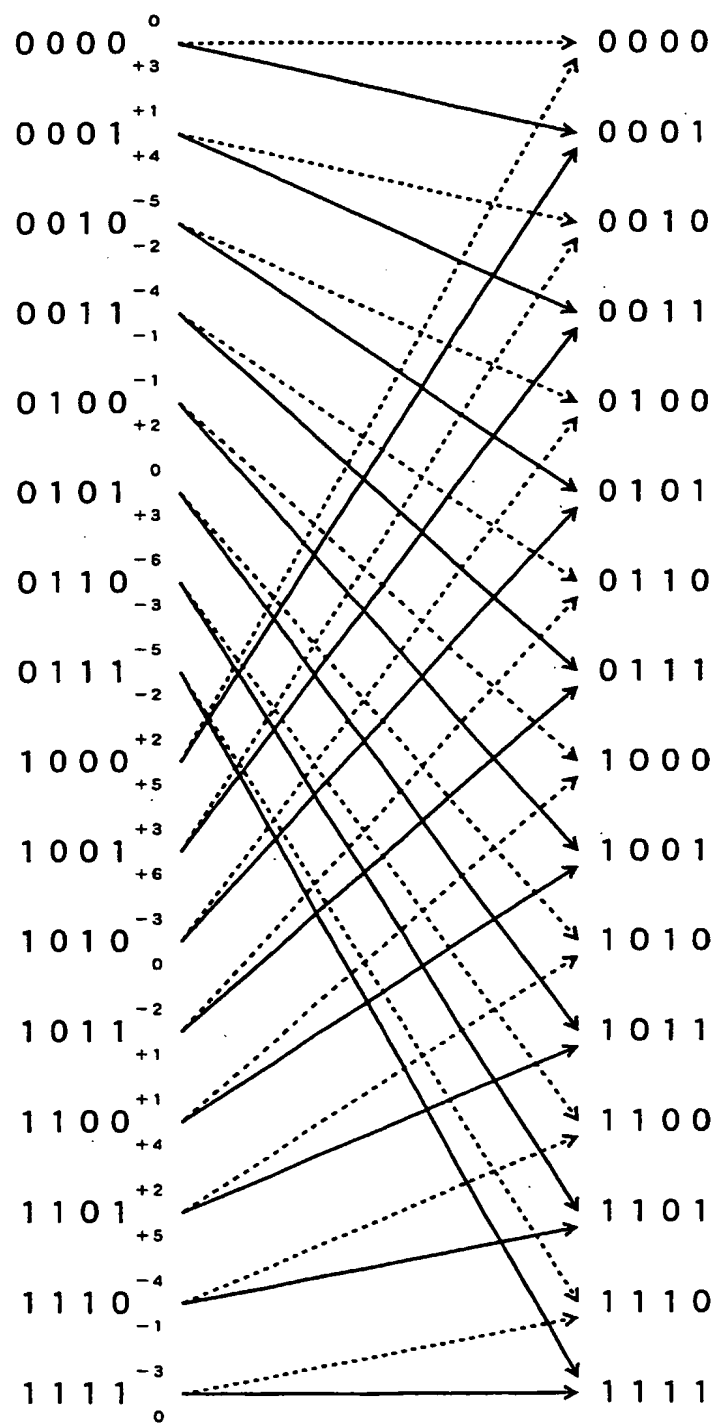


図 36

